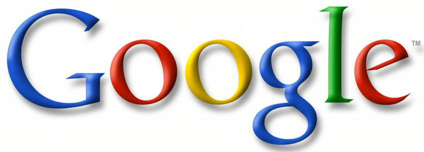
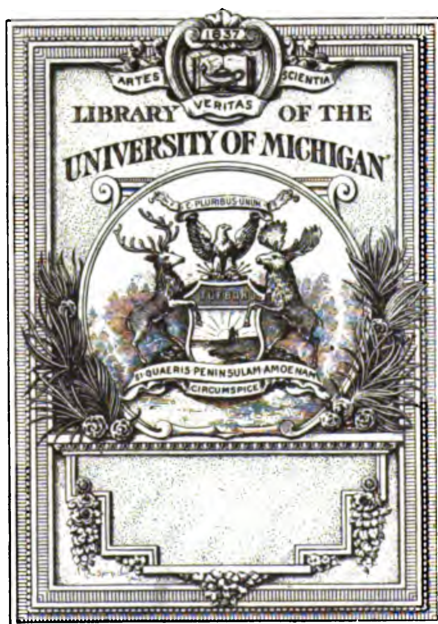



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

CORDIER, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, *président*.

DE BOUREUILLE, conseiller d'État, inspecteur général secrétaire général du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

ÉLIE DE BEAUMONT, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

THIRRIA, inspecteur général.

COMBES, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, directeur de l'École des mines.

LEVALLOIS, inspecteur général.

MARROT, inspecteur général.

LORIEUX, inspecteur général.

MM.

DE BILLY, inspecteur général.

DE SÉNARMONT, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

PIÉRARD, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.

DE VILLENEUVE, ingén. en chef, professeur de législation des mines.

CALLON, ingénieur en chef, professeur d'exploitation.

RIVOT, ingénieur, professeur de docimasie.

DE CHEPPE, ancien chef de la division des mines.

COUCHE, ingénieur en chef, professeur de chemins de fer et de construction, *secrétaire de la commission*.

DELESSE, ingénieur ordinaire, maître de conférence à l'Ecole normale, *secrétaire-adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XII.

PARIS.

VICTOR DALMONT, ÉDITEUR,

Précédemment Carilian-Gœury et Vve Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1857

ANNALES
DES MINES.

RECHERCHES

SUR LES FORMES CRISTALLINES ET LA COMPOSITION CHIMIQUE DE DIVERS SELS.

Par C. MARIGNAC, ingénieur des mines,
professeur à l'académie de Genève.

(2e *mémoire*.)

Le système de notation adopté dans cette notice est celui que j'ai employé dans deux mémoires antérieurs sur le même sujet, publiés, l'un dans les *Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, t. XIV, 1re partie; l'autre dans les *Annales des mines*, 5e série, t. IX.

CHLORURE AMMONICO-MAGNÉSIEN : $AzH^4Cl,\ 2MgCl + 12Aq$.

Prisme rhomboïdal droit. Forme primitive.

Au premier abord, ce sel paraît cristalliser en cubes; mais, lorsqu'on mesure les angles, on reconnaît facilement que ce sont des prismes droits rhomboïdaux dont l'angle est de 91° 40'. L'examen optique ne laisse d'ailleurs aucun doute. Quand on le regarde dans l'appareil de polarisation dans le sens de l'axe vertical, la lumière est éteinte dans deux directions rectangulaires, tandis qu'elle est rétablie dans les positions intermédiaires. Lorsque la lumière polarisée passe, au con- Examen optique.

traire, perpendiculairement aux faces du prisme, elle détermine des anneaux colorés circulaires très-nets, traversés par une ligne noire. On peut conclure de là, qu'il existe deux axes optiques parallèles à la base, sensiblement perpendiculaires aux faces du prisme, ou peut-être parallèles aux arêtes de la base.

Description. J'ai cru longtemps qu'il me serait impossible de trouver aucune modification qui permît de déterminer complétement ces cristaux. Cependant, après un grand nombre de préparations, j'ai réussi à en obtenir quelques-uns présentant une face A sur les arêtes verticales obtuses, et de très-petites facettes $m^{1/2}$ et m sur les arêtes de la base (*fig.* 1, Pl. I).

Une autre fois, j'ai obtenu des cristaux en lames hémitropes groupées en aigrettes (*fig.* 2); le plan de jonction étant parallèle à une face a, que je n'ai pas rencontrée sur les cristaux.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	91° 40′	*91° 40′	$m^{1/2}$ — $m^{1/2}$ =	120° 45′	
A : M =	135 50	135 50	$m^{1/2}$: $m^{1/2}$ =	118 49	
P : $m^{1/2}$ =	134 49	134 30	P : a =	124 42	
P : m =	116 25	*116 25	P : P′ =	110 36	110° 17′
P : M =	90 00	90 00	M : a =	126 8	
m — m =	102 47		M : M′ =	107 44	107 52
m ⌣ m =	101 3				

Analyse. 1^g,0 a donné 1,685 de chlorure d'argent, contenant 0,4165 de chlore, et 0,445 de phosphate de magnésie ou 0,0977 de magnésium.

1,964 ont exigé, pour la précipitation du chlore, 2,456 d'argent correspondant à 0,8063 de chlore ou 41,05 p. 100, et produit 0,873 de phosphate de magnésie, contenant 0,1917 de magnésium ou 9,76 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
2Mg	306	9,63	9,77	9,76
AzH^4	225	7,01		
3Cl	1329,6	41,41	41,65	41,05
12Aq	1350	42,05		
	3210,6	100,00		

Cette composition est analogue à celle du sel correspondant de potasse, bien qu'il n'y ait pas d'analogie entre leurs formes.

L'existence de ce sel avait été signalée déjà par Fourcroy ; sa composition a été établie récemment par M. de Hauer (1) ; mais, trompé par son apparence, il l'avait signalé comme cristallisant en cube.

CHLORURE POTASSICO-MAGNÉSIEN : $KCl, 2MgCl + 12Aq$.

Prisme rhomboïdal droit. — Forme primitive.

M. Rammelsberg a décrit ce sel comme appartenant au système hexagonal. Toutefois, il a remarqué que ses cristaux avaient ordinairement un développement plutôt prismatique.

Ayant tenu à le comparer au sel précédent, j'en ai préparé de beaux cristaux, et j'ai pu m'assurer, soit par leur examen optique, soit par une mesure exacte de leurs angles, qu'ils dérivent réellement d'un prisme rhomboïdal droit.

La forme la plus complète que j'aie observée (*fig.* 3) est celle de tables hexagonales plus ou moins aplaties suivant la base P, et portant, outre les bases du prisme M, M, E, trois séries de facettes comprises entre la base et ces faces : m, $m^{1/2}$, $m^{1/3}$ et e^2, e, $e^{2/3}$. On aperçoit de plus quelquefois une face a tronquant l'arête antérieure mm.

Mais, le plus souvent, les faces prismatiques M et E manquent ; il ne reste qu'une série de pyramides hexagonales ; quelquefois aussi le cristal est plus allongé verticalement, et la base P manque ou est extrêmement réduite.

Tantôt les cristaux prennent une apparence prisma-

(1) *Journal fur praktische Chemie*, t. LXIII, p. 435.

tique résultant de l'allongement des faces latérales parallèlement à l'axe *a*. Tantôt, au contraire, ces faces diminuent ou disparaissent même complétement et les cristaux prennent l'apparence de tables rhomboïdales.

Examen optique. L'examen optique ne donne de résultats nets que pour les cristaux aplatis suivant la base. La lumière polarisée les traversant alors dans le sens de l'axe ne donne point d'anneaux colorés, ce qui exclut l'hypothèse d'une forme hexagonale; mais elle s'éteint complétement dans deux directions rectangulaires, tandis qu'elle est rétablie dans les positions intermédiaires : il y a donc deux axes optiques dans un plan parallèle à la base. Le grand nombre des facettes sur les bords des tables ne m'a pas permis de juger exactement de la position de ces axes.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M : M	119° 00′	* 119° 00′	$m^{1/3} \smile m^{1/3}$	109° 26′	
E : M	120 30	120 40	$m^{1/2} \smile m^{1/2}$	92 13	91° 54′
P : $m^{1/3}$	137 54	137 48	$m \smile m$	72 8	72 16
P : $m^{1/2}$	126 25	* 126 25	m : e	126 4	126 10
P : m	110 15	110 10	M : $m^{1/3}$	109 1	108 50
P : M	90 00	90 00	M : $e^{2/3}$	69 59	69 34
P : $e^{2/3}$	137 38	137 24	$m^{1/3}$: $e^{2/3}$	140 58	140 44
P : e	126 1	125 30	M : a	142 23	142 45
P : e^2	109 58	109 50	M : $m^{1/2}$	112 58	112 51
P : E	90 00	90 00	M : e	65 46	65 36
E : $m^{1/3}$	109 54		$m^{1/2}$: e	132 48	132 45
$m^{1/3}$ — $m^{1/3}$	140 13		M : m	117 3	116 50
E : $m^{1/2}$	114 6	114 20	M : e^2	61 30	61 20
$m^{1/2}$ — $m^{1/2}$	131 47	131 28	m : e^2	124 27	124 30
E : m	118 26	118 30	P : a	113 11	
m — m	123 8	122 56			

Analyse. 1^{g},248 ont exigé, pour la précipitation du chlore, 1,449 d'argent correspondant à 0,4757 de chlore, ou 38,12 p. 100.

1,534 ont produit 0,625 de phosphate magnésien, contenant 0,1372 de magnésium, ou 8,94 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
2Mg	306	8,81	8,94
K	489	14,07	
3Cl	1329,6	38,27	38,12
12Aq	1350	38,85	
	3474,6	100,00	

Cette composition est exactement conforme à une ancienne analyse de ce sel par M. Liebig.

On peut remarquer que sa forme se rapproche extrêmement de celle de l'azotate de potasse; la pyramide $m^{1/2} e$ ayant ses angles presque identiques avec ceux de la pyramide principale $m\ e^2$ du nitre.

Bien que ce sel et le précédent aient la même composition, ils ne paraissent nullement isomorphes. Ils appartiennent, il est vrai, au même système, mais on ne pourrait les faire dériver que d'une manière forcée de formes encore assez éloignées l'une de l'autre.

J'ai vainement essayé d'obtenir des sels doubles analogues avec le chorure de calcium en le mêlant avec les chlorures alcalins. Les deux chlorures ont toujours cristallisé séparément.

CHLORURE DE MANGANÈSE ; MnCl + 4Aq.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

La forme habituelle de ce sel a été décrite pour la première fois par M. Rammelsberg dans son *Traité de chimie cristallographique*, et j'ai eu l'occasion de constater l'exactitude de sa description et de son analyse. M. Schabus, de son côté, a décrit une forme de ce sel qui n'offre aucun rapport avec celle de M. Rammelsberg; malheureusement l'absence de toute analyse fait qu'il est impossible de savoir quelle était la nature des cristaux de M. Schabus. Dans l'espérance de les reproduire, j'ai cherché à faire cristalliser dans diverses conditions une dissolution de chlorure de manganèse très-pur. Tous mes essais dans ce sens ont été infructueux,

mais j'ai réussi à obtenir une forme nouvelle du chlorure de manganèse qui offre quelque intérêt, par les circonstances dans lesquelles elle se produit et par son isomorphisme avec le chlorure de fer.

Formation de ce sel.

Ces cristaux ne se forment qu'à une basse température et dans une dissolution sursaturée. Il n'est pas nécessaire qu'elle soit renfermée dans un vase fermé. Je les ai obtenus dans les conditions suivantes : la dissolution concentrée à chaud jusqu'à sursaturation dans un verre à précipiter, était simplement couverte d'une feuille de papier à filtre et portée à l'air extérieur pendant une époque où la température a varié à peu près de o à + 6 degrés. La préparation ne réussit pas toujours; le succès dépend probablement du degré de concentration de la liqueur, et je n'ai pas cherché à le déterminer avec précision.

Souvent le chlorure cristallise presque en masse sous sa forme ordinaire, mais quelquefois aussi il s'y forme peu à peu de gros cristaux qui ne s'accroissent que fort lentement. Ces cristaux sont très-éclatants et limpides dans leur eau-mère; mais peu après qu'on les en a retirés, ils deviennent opaques, mats et rugueux, par suite d'un changement dans leur structure cristalline. Sous cette forme, le chlorure de manganèse est bien plus soluble que sous sa forme ordinaire; car après avoir sorti ces cristaux de l'eau mère dans laquelle ils avaient cessé de s'accroître, celle-ci, rentrée dans le laboratoire à une température de 10 à 12 degrés plus élevée, a bientôt déposé une abondante cristallisation de chlorure ordinaire, cristallisation qui a encore augmenté quand on a reporté le vase au froid. Ces phénomènes sont exactement semblables à ceux que M. Loevel a si bien décrits pour le sulfate de magnésie, le carbonate de soude, etc.

Ces cristaux perdant assez vite leur état, il ne m'a pas été possible d'en mesurer les angles avec précision, mais les mesures suffisent pour établir leur isomorphisme parfait avec le chlorure de fer $FeCl + 4Aq$.

Ce sont des octaèdres rhomboïdaux obliques, largement basés, P, *m*, μ (*fig.* 4), avec des troncatures $e^{1/2}$ sur les angles latéraux de la base. Ils sont souvent très-aplatis et prennent l'apparence tabulaire. Description.

	Calculé.	Observé.	Chlorure de fer d'après Schabus.
$m - m$	= 105° 36′	106° 00′	104° 00′
$\mu - \mu$	= 86 00	*86 00	84 10
$m \smile \mu$	= 103 59		106 38
P : *m*	= 126 30	*126 30	126 35
P : μ	= 76 30	*76 30	75 27
P : $e^{1/2}$	= 142 30	143 00	

Angle plan de la base, 82° 26′.
Inclinaison de l'axe, 110° 46′.

1g,523 dissous et précipités par le carbonate de soude ont produit 0,576 d'oxyde rouge, contenant 0,4154 de manganèse, ou 27,27 p. 100. La formule exige 27,86. Analyse.

Ainsi le chlorure de manganèse à 4 Aq est dimorphe; l'une de ses formes, celle qui correspond à celle du chlorure de fer, ne se produit que dans une dissolution sursaturée, à une basse température, et n'est pas stable.

BROMURE DE MANGANÈSE : $MnBr + 4Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Ce sel ressemble tout à fait au chlorure de manganèse ordinaire, avec lequel il est parfaitement isomorphe. Il est peut-être d'un rose un peu plus vif; il est aussi plus déliquescent, ce qui empêche d'en mesurer les angles avec une grande exactitude.

Les cristaux offrent le prisme rhomboïdal M, avec une large base P, de petites facettes *m* et μ, appartenant

à l'octaèdre primitif, et les troncatures *e* sur les angles latéraux (*fig.* 5). Les cristaux sont en général tabulaires.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	115° 00′	*115° 00′	P : *e* =	131° 00′	*131° 00′
{P : *m* =	121 12	121 00	*e* ∧ *e* =	82 00	
{P : M =	97 40	* 97 40	M : *e* =	119 32	120 00
{P : μ =	71 23	71 00	M : *e′* =	108 58	109 30
m — *m* =	124 45		μ — μ =	118 10	

Angle plan de la base. . . 114° 20′
Inclinaison de l'axe. . . . 99 6

Analyse. $0^g,955$ ont donné 1,250 de bromure d'argent, 0,5319 de brome ou 55,69 p. 100, et 0,263 d'oxyde rouge contenant 0,1897 de manganèse = 19,86 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
Mn	345	19,22	19,86
Br	1000	55,71	55,69
4Aq	450	25,07	
	1795	100,00	

Iodure de manganèse déliquescent. J'ai essayé sans succès de déterminer la forme de l'iodure de manganèse ; je l'ai obtenu en cristaux lamellaires, colorés en rose comme les précédents, mais brunissant bientôt à l'air. Mais ils sont d'une telle déliquescence qu'il m'a été impossible de les déterminer.

CHLORURE DE ZINC AMMONIACAL : $ZnCl, AzH^3$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Les cristaux de ce composé sont des prismes (*fig.* 6) terminés par un biseau *e* sur les angles aigus de la base. On y trouve quelquefois la base P, et, très-rarement, de très-petites facettes *a* sur les angles obtus.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	94° 56′	*94° 56′	{P : *e* =	136° 24′	136° 30′
P : M =	90 00	90 00	{*e* ∧ *e* =	92 49	93 00
{M : *e* =	117 47	*117 47	{P : *a* =	133 56	134 00
{M : *a* =	122 3		{*a* ∧ *a* =	87 53	

Ces cristaux sont assez éclatants, inaltérables à l'air.

Ils sont souvent maclés parallèlement à l'une des faces M (*fig.* 7).

Ce sel se prépare facilement en versant de l'ammoniaque dans une dissolution un peu concentrée de chlorure de zinc, jusqu'à ce que le précipité qui se forme au premier moment soit redissous ; puis on laisse évaporer à l'air. Sa formation est souvent précédée de celle d'un composé plus ammoniacal, qui se dépose en paillettes nacrées non déterminables.

0g,864 ont donné : chlorure d'argent 1,437, chlore 0,3551 ou 41,10 p. 100, oxyde de zinc 0,409, zinc 0,3221 ou 37,28. Analyse.

1 gr. sursaturé d'acide chlorhydrique a laissé, par l'évaporation à 100 degrés, 1,417 de chlorure zinco-ammonique ; puis, par l'alcool et le chlorure de platine, 2,598 de chloroplatinate d'ammoniaque, correspondant à 0,1977 d'ammoniaque (AzH^3).

		Calculé.	Trouvé.
Zn	405	38,18	37,28
Cl	443,2	41,79	41,10
AzH^3	212,5	20,03	19,77
	1060,7	100,00	98,15

Ce composé a été déjà analysé par M. Kane, qui lui assigne la formule $2(ZnCl, AzH^3) + Aq$. Cette formule correspond à 5 p. 100 d'eau, tandis que la perte dans mon analyse n'atteint pas 2 p. 100. D'ailleurs, la meilleure preuve de l'absence de l'eau se tire de l'augmentation de poids que subit ce sel par l'évaporation à siccité avec l'acide chlorhydrique. En effet, le calcul indique, pour cette augmentation de poids : pour le sel anhydre 42,9 p. 100 ; pour un sel hydraté tel que le suppose M. Kane 35,7 p. 100 ; et j'ai trouvé 41,7.

CHLORURE ZINCO-AMMONIQUE.

Dans son *Traité de chimie cristallographique*, M. Ram-

melsberg décrit les formes cristallines de ce sel, auquel il attribue, d'après son analyse, la formule $AzH^4Cl,ZnCl$. Une analyse plus ancienne de M. Schindler l'avait fait considérer antérieurement comme renfermant un équivalent d'eau. Or il est à remarquer que les cristaux décrits par M. Rammelsberg peuvent être regardés, en les tournant dans un sens différent, comme isomorphes avec le chlorure stannoso-ammonique décrit par le même savant, et dont il représente la composition par la formule $AzH^4Cl, SnCl+Aq$.

Existence de deux sels doubles.

Ces considérations m'ont engagé à reprendre l'examen de ce sel; les résultats que j'ai obtenus n'ont point répondu à ce que j'avais supposé, mais ils n'en sont pas moins curieux. Ils prouvent, en effet, qu'il existe deux sels doubles, tous deux anhydres, représentés par les formules $AzH^4Cl, ZnCl$ et $3AzH^4Cl, 2ZnCl$. Les cristaux décrits par M. Rammelsberg appartenaient probablement à la seconde espèce. Mais, ce qui est le plus singulier, c'est que ces deux sels, parfaitement distincts par leur aspect et par les faces que présentent leurs cristaux, ont des formes qui dérivent exactement l'une de l'autre. Cependant on ne peut guère les appeler isomorphes, puisqu'ils ne paraissent en aucune façon se mélanger en cristallisant, et qu'il n'y a aucun passage de l'un à l'autre, bien qu'ils se forment quelquefois simultanément dans une même dissolution. Ces faits m'ont assez étonné pour que je n'aie cru devoir les admettre qu'après les avoir vérifiés par un grand nombre d'analyses. Pour en faciliter l'exposition, et me fondant sur la différence d'aspect des cristaux, j'appellerai sel lamellaire celui qui renferme des équivalents égaux des deux chlorures, et sel prismatique celui qui contient un excès de chlorure ammonique.

Après quelques essais préliminaires qu'il est inutile

de rapporter et qui m'avaient fait soupçonner ces faits, voici la marche que j'ai suivie pour les mettre hors de doute.

J'ai fait dissoudre du zinc dans l'acide chlorhydrique, et j'y ai ajouté du sel ammoniac en quantité telle que les deux chorures devaient se trouver à peu près à équivalents égaux dans la liqueur. Puis, par des concentrations successives, j'ai séparé les produits de plusieurs cristallisations. J'ai obtenu ainsi les produits suivants, dont on trouvera plus loin les analyses : Préparation.

A, B, C, cristaux prismatiques produits par les trois premières cristallisations;

D, E, cristaux lamellaires obtenus après une quatrième et une cinquième concentration. L'eau mère, après cela, était devenue presque sirupeuse par suite du grand excès de chlorure de zinc qu'elle contenait;

F, cristaux prismatiques obtenus en redissolvant et faisant cristalliser de nouveau les sels A, B, C;

G, cristaux prismatiques obtenus par une première cristallisation des cristaux D et E, après les avoir fait redissoudre;

H, cristaux lamellaires obtenus en dissolvant les cristaux prismatiques dans l'eau, ajoutant du chlorure de zinc en excès, et faisant cristalliser.

Voici maintenant les analyses de ces sels. Le dosage du chlore a eu lieu tantôt en pesant le chlorure d'argent, tantôt en précipitant par une dissolution d'argent titrée. Dans tous les cas, les sels avaient été desséchés à 100 degrés. Ils conservent à cette température toute leur transparence, et ne perdent qu'une trace d'eau hygrométrique.

Lames en général excessivement minces, le plus souvent rectangulaires, résultant de la réunion des deux prismes M et N, largement tronqués par le plan diagonal E, qui est le plan large de ces lames. On y trouve aussi une faible indication des faces antérieures A. Le sommet est formé par le biseau *e*, quelquefois on distingue aussi de très-petites faces e^3. Enfin, et plus rarement, les angles de ces lames sont tronqués par les faces de l'octaèdre primitif *m* (*fig.* 10).

Il est difficile d'obtenir des mesures très-exactes de ces cristaux, soit à cause de leur faible épaisseur, soit parce que, sans être positivement déliquescents, ils se couvrent facilement d'un vernis d'humidité lorsqu'on en approche l'œil. Les angles suivants ont été calculés sur la forme primitive du composé précédent.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
E : N =	145° 20′	145° 40′	A : *m* =	124° 15′	124° 00′
E : M =	125 52	125 50	A : *e* =	90 00	90 00
E : A =	90 00	90 00	*m* ⌣ *m* =	111 30	112 00
E : e^3 =	149 29	149 45	E : *m* =	114 1	114 23
E : *e* =	119 29	119 40	*m*—*m* =	131 58	131 12
M : *m* =	133 59	133 50			

Les deux prismes verticaux M et N et les faces A sont les seules faces communes à ces cristaux et à ceux de l'espèce précédente; mais toutes leurs formes peuvent être calculées sur les mêmes bases : en effet, les différences entre le calcul et l'observation, telles qu'elles résultent du dernier tableau, ne dépassent guère ce que l'on pouvait attendre de cristaux aussi minces.

Analogies. Une pareille analogie est certainement un fait curieux. Cependant je crois devoir faire remarquer que ces cristaux appartiennent à un type très-fréquent parmi les substances qui cristallisent dans le système rhomboïdal droit. Ainsi, l'on pourrait citer les composés suivants comme isomorphes avec eux, si le terme d'isomor-

phisme pouvait s'appliquer à des composés qui n'offrent pas une constitution analogue.

1° En conservant aux cristaux la position que je leur ai donnée, le chlorure aurosodique Au^2Cl^3, NaCl+4Aq;

2° En changeant l'un pour l'autre les axes *a* et *b*: les chlorures doubles d'étain et de potassium ou d'ammonium, SnCl, KCl + Aq, et SnCl, AzH^4Cl + Aq;

3° En prenant pour prisme les faces *e* : le sulfate de potasse, le carbonate de baryte, l'azotate de potasse, etc.;

4° En prenant pour prisme les faces *a* : l'indigo, le borate de potasse.

Chlorure zinco-potassique : KCl, ZnCl.

Prisme rhomboïdal droit.

Forme primitive.

Ce sel ne paraît point offrir la même anomalie que le précédent. Qu'il se forme dans une dissolution contenant un excès de chlorure de potassium ou de chlorure de zinc, ses cristaux présentent toujours la même apparence, les mêmes faces et la même composition.

Il est isomorphe avec le sel ammonique correspondant; toutefois, au lieu du prisme $N(a : \frac{1}{2}b : \infty c)$ que je n'ai jamais observé sur ses cristaux, on y trouve deux autres prismes : $R(a : \frac{2}{3}b : \infty c)$ et $S(a : \frac{1}{3}b : \infty c)$. Il présente d'ailleurs les faces A, E, M, l'octaèdre primitif *m* et le biseau *e*. Je n'ai pas rencontré les faces e^3 (*fig.* 11).

Les cristaux sont prismatiques, allongés verticalement, quelquefois aplatis parallèlement à E, mais sans passer à l'état lamellaire comme le sel ammonique.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	108° 40′	108° 40′	E : *m* =	114° 22′	114° 17
E : S =	155 5	155 10	*m* — *m* =	131 17	131 26
E : R =	137 7	137 6	A : *m* =	125 5	
E : M =	125 40	*125 40	A : *e* =	90 00	90 00
E : A =	90 00	90 00	*e* : *m* =	144 55	144 52
E : *e* =	120 16	*120 16	*m* ⌣ *m* =	109 50	109 44
e ∧ *e* =	119 28	119 30	M : *m* =	135 1	135 00

Analyse. 2 gr. ont produit 3,985 de chlorure d'argent.

1,453 ont été précipités par 2,196 d'argent, et ont produit 0,419 d'oxyde de zinc.

		Calculé.	Observé.	
Zn	405	22,75	»	23,12
K	489	27,47		
2Cl	886,4	49,78	49,24	49,62
	1780,4	100,00		

CHLORURE ZINCO-SODIQUE : NaCl, ZnCl + 3Aq.

Forme primitive. Prisme hexagonal.

Ce sel cristallise en petits cristaux aciculaires à six pans. Il est plus déliquescent que les précédents. Les cristaux sont le plus souvent terminés par une base droite ; quelquefois ils présentent un pointement hexagonal, mais qu'il m'a été impossible de déterminer. J'ai pu seulement constater que les faces du prisme sont bien exactement inclinées entre elles de 120 degrés, et que la base est perpendiculaire aux faces.

Analyse. Les cristaux perdent toute leur eau, soit à la température ordinaire dans le vide, soit par la dessication à 100 degrés.

1g,500 ont perdu à 100 degrés 0,270 d'eau = 18,00 p. 100, et donné : oxyde de zinc 0,403 = zinc 0,3232 = 21,55 p. 100.

1g,642 ont perdu dans le vide 0,292 = 17,78 p. 100, et donné 3,038 de chlorure d'argent contenant 0,7508 de chlore ou 45,73 p. 100.

		Calculé	Trouvé.	
Zn	405	21,11	21,55	
Na	289	15,07		
2Cl	886,4	46,22	45,73	
3Aq	337,5	17,60	18,00	17,78
	1917,9	100,00		

La composition de ce sel correspond exactement à

celle de l'iodure zinco-sodique analysé par M. Rammelsberg.

CHLORURE STANNOSO-POTASSIQUE : KCl, SnCl + Aq.

Prisme rhomboïdal droit. *Forme primitive.*

Bien que mes observations sur ce sel double diffèrent peu de celles de M. Rammelsberg, je décrirai les cristaux que j'ai obtenus, parce qu'ils présentent plusieurs faces différentes de celles qu'a indiquées ce savant.

Le prisme rhomboïdal M est tronqué sur ses arêtes par les faces A et E (*fig.* 12). Il porte au sommet l'octaèdre primitif *m*, un second octaèdre *n* $(a : \frac{1}{2}b : c)$, les faces *a* sur les angles obtus de la base, *e* et e^2 sur les angles aigus. J'ai introduit en outre dans le calcul l'octaèdre $r(a : \frac{3}{2}b : e)$ observé par M. Rammelsberg.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	111° 4′	* 111° 4′	E : e^2 =	146° 40′	146° 40′
A : M =	145 32	145 32	E : *e* =	127 14	127 15
A : E =	90 0	90 0	$e^2 \wedge e^2$ =	66 40	
A : *a* =	137 55	137 55	$e \wedge e$ =	105 31	
$a \wedge a$ =	84 10	* 84 10	A : *m* =	131 24	131 25
E : *n* =	135 32	135 32	A : *e* =	90 0	90 0
E : *m* =	117 0	116 58	$e \smile e$ =	97 12	
E : *r* =	108 45	» »	A : *n* =	121 19	
E : *a* =	90 0	90 0	$n \smile n$ =	117 21	
n — *n* =	88 56		P : *n* =	118 0	
m — *m* =	126 0		$n \wedge n$ =	56 0	
M : *m* =	143 20	143 27	P : *r* =	129 23	
$m \wedge m$ =	73 20		$r \wedge r$ =	78 47	

L'octaèdre primitif présente presque exactement les mêmes angles que l'octaèdre *n* du chlorure zinco-ammonique; en sorte qu'il suffit de retourner les cristaux pour établir l'isomorphisme de ces deux composés, sans qu'il y ait cependant d'analogie dans leur constitution.

2 gr. ont été précipités par l'acide sulfhydrique; le sulfure d'étain grillé a laissé 0,822 d'oxyde d'étain = 0,6443 d'étain ou 32,21 p. 100. La dissolution évaporée *Analyse.*

avec de l'acide sulfurique a donné, après calcination, 0,988 de sulfate de potasse, contenant 0,4436 de potassium ou 22,18 p. 100.

1g,353 ont perdu à 100 degrés 0,072 d'eau = 5,32 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
Sn	725	32,76	32,21
K	489	22,09	22,18
2Cl	886,4	40,06	»
Aq	112,5	5,09	5,32
	2212,9	100,00	

Ces résultats confirment entièrement l'analyse de M. Rammelsberg.

FLUORHYDRATE SODIQUE : NaF, HF.

Forme primitive. Rhomboèdre.

Petits cristaux rhomboédriques, souvent mâclés parallèlement à la base (*fig.* 13). L'angle du rhomboèdre est de 74° 36'. Les cristaux mâclés présentent des angles alternativement saillants et rentrants de 133° 26' (observé 133° 30').

Analyse. Il perd par calcination 33 p. 100 d'acide fluorhydrique ; ce qui correspond bien à la formule NaF, HF, établie d'ailleurs par Berzélius.

Sel de potasse correspondant. Le fluorhydrate potassique, bien que présentant une composition analogue, n'est point isomorphe avec lui. Il cristallise, en effet, en lames carrées ; sa forme a été indiquée par M. Rammelsberg, d'après une communication de M. de Sénarmont, dont les mesures s'accordent exactement avec celles que j'ai obtenues moi-même.

FLUOSILICATE AMMONIQUE : $3AzH^4F, 2SiF^3$.
FLUOSILICATE POTASSIQUE : $3KF, 2SiF^3$.

Forme primitive. Système cubique.

Ces deux sels sont parfaitement isomorphes.

Le sel de potasse, fort peu soluble dans l'eau, s'obtient rarement en cristaux déterminables. Cependant, en faisant bouillir avec une grande quantité d'eau, filtrant rapidement, et laissant refroidir lentement la dissolution, on parvient à obtenir de petits cristaux très-éclatants dont on peut bien reconnaître la forme. Ce sont, en général, des octaèdres portant quelquefois les faces du cubes. Le plus souvent les octaèdres sont aplatis et offrent l'apparence de lamelles triangulaires ou hexagonales; c'est probablement là ce qui a induit Berzélius en erreur, et lui a fait attribuer à ces cristaux la forme rhomboédrique. Mais il est facile de s'assurer, au moyen du microscope polarisant, qu'ils possèdent la réfraction simple.

Le fluosilicate ammonique, plus soluble dans l'eau, s'obtient aisément en cristaux que l'on peut très-bien mesurer, bien qu'ils soient toujours assez petits. Ce sont des cubo-octaèdres très-nets. Ils avaient été indiqués par Davy comme des prismes carrés, par Berzélius comme des prismes hexagonaux.

1g,500 de fluosilicate potassique, décomposés par l'acide sulfurique, ont donné 1,171 de sulfate correspondant à 0,5264 de potassium ou 35,09 p. 100. La formule exige 35,39. Analyse.

1 gr. de fluosilicate ammonique, traité par le carbonate d'ammoniaque, a donné 0,323 de silice = 0,1551 de silicium. On a ensuite précipité la dissolution par le chlorure de calcium, et obtenu après traitement par l'acide acétique, 1,296 de fluorure de calcium = 0,6294 de fluor.

		Calculé.	Trouvé.
2 Si	554	16,52	15.51
3 AzH^4	675	20,13	»
9 F	2124	63,35	62,94
	3353	100,00	

Ces analyses confirment bien la composition attribuée à ces sels.

FLUOSILICATE SODIQUE : $3NaF, 2SiF^3$.

Forme primitive. Prisme hexagonal.

Cristaux assez petits, mais très-brillants. Ce sont des prismes réguliers à douze pans. Le plus souvent la terminaison en est informe et indéterminable. Sur quelques-uns cependant on trouve un pointement distinct hexagonal, et quelquefois une base droite (*fig.* 14).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M : T =	150° 0′	150° 0′	M : *m* =	105° 49′	105° 44′
M : M =	120 0	120 0	*m* — *m* =	148 21	148 30
M : *m* =	123 3	* 123 3	T : *m* =	118 11	118 8
M : P =	90 0	90 0	*m* ⌣ *m* =	123 38	123 45
P : *m* =	146 57				

Analyse. 1g,500, décomposés par l'acide sulfurique, ont donné 1,130 de sulfate de soude, contenant 0,3674 de sodium, soit 24,49 p. 100. C'est précisément le chiffre exigé par la formule.

La composition de ce sel et la forme hexagonale de ses cristaux avaient été déjà signalées par Berzélius.

FLUORURE STANNEUX : SnF.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Les cristaux de ce sel sont en général minces, et présentent l'apparence de tables rhomboïdales assez aiguës, tronquées sur les arêtes et sur les angles aigus par un assez grand nombre de faces.

Les faces qui dominent en général sont, outre la base P très-large, les faces A, $\mu^{2/3}$ et *m*. On trouve en outre, mais ordinairement peu développées, les faces α et α^2, M, μ et μ^2 (*fig.* 15).

Malgré le peu d'épaisseur des cristaux, leur éclat très-vif et leur inaltérabilité à l'air rendent leur mesure facile.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
$M - M$ =	42° 35′	* 42° 35′	$m - m$ =	87° 26′	87° 22′
$M : A$ =	111 17	111 17	$\mu^2 - \mu^2$ =	47 47	»
$P : A$ =	109 24	* 109 24	$\mu - \mu$ =	71 49	»
$P : \alpha^2$ =	56 5	55 45	$\mu^{2/3} - \mu^{2/3}$ =	93 36	* 93 36
$P : \alpha$ =	30 31	30 30	$A : m$ =	117 33	117 30
$P : m$ =	129 38	129 43	$A : \mu$ =	83 31	»
$P : M$ =	96 56	96 55	$A : \mu^2$ =	104 0	103 48
$P : \mu^2$ =	76 56	76 47	$A : \mu^{2/3}$ =	90 34	90 35
$P : \mu$ =	59 39	59 50	$\alpha^2 : \mu^{2/3}$ =	126 12	126 16
$P : \mu^{2/3}$ =	46 48	46 51	$\alpha : \mu^{2/3}$ =	135 51	135 54
			$m \smile \mu^{2/3}$ =	149 49	149 40

Angle plan de la base, 40° 22′.

1g,153, décomposés par l'acide sulfurique, ont donné par calcination 1,112 d'acide stannique, contenant 0,8716 d'étain, soit 75,59 p. 100. Analyse.

		Calculé.	Trouvé.
Sn	725	75,44	75,59
F	236	24,56	
	961	100,00	

C'est donc le fluorure anhydre, comme l'a trouvé M. Fremy.

FLUORURE D'ARGENT : AgF, 2Aq.

Octaèdre quarré. Forme primitive.

Suivant M. Fremy, le fluorure d'argent forme deux hydrates cristallisables : l'un en petits cristaux jaunâtres cubiques, l'autre en prismes incolores et très-volumineux. Il a analysé l'un de ces hydrates, il ne dit pas lequel, et a trouvé quatre équivalents d'eau.

Je n'ai réussi à obtenir ce sel qu'en cristaux octaédriques incolores, ne renfermant que deux équivalents d'eau.

Ses cristaux sont quelquefois assez gros ; ils ont assez d'éclat, mais sont assez déliquescents pour que les mesures ne puissent être qu'approximatives. Ils sont formés d'un octaèdre principal *m*, qui est le plus souvent seul. Quelquefois on trouve un second octaèdre plus

obtus $m^{1/3}$, mais qui le plus souvent ne se montre qu'à l'un des sommets. Quelquefois enfin les cristaux sont allongés suivant l'un des axes horizontaux; ce qui leur donne au premier abord une apparence prismatique (*fig.* 16).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
$m \wedge m$	= 54° 46′	*54° 46′	$m-m$	= 102° 13′	101° 30′ à 103°
$m^{1/3} \wedge m^{1/3}$	= 124 29		$m^{1/3}-m^{1/3}$	= 135° 1′	136° environ.
$m : m^{1/3}$	= 150 9	150			

Analyse. 0g,434 ont donné par l'acide chlorhydrique 0,422 de chlorure d'argent = 0,3177 d'argent ou 73,20 p. 100.

1g,815, traités par le chlorure de sodium sans excès, ont donné 1,814 de chlorure d'argent, contenant 1,3657 d'argent ou 75,24 p. 100; la liqueur filtrée, précipitée par le chlorure de calcium et l'ammoniaque, a donné 0,500 de fluorure de calcium = 0,2428 de fluor ou 13,37 p. 100.

Séché dans le vide, il perd 11 p. 100 de son poids; ce qui représente presque la totalité de l'eau.

		Calculé.	Trouvé.	
Ag	1350	74,55	73,20	75,24
F	236	13,03	»	13,37
2 Aq	225	12,42	»	»
	1811			

Pour toutes ces analyses, le sel avait été seulement essuyé avec du papier, puis écrasé entre des feuilles de papier à filtrer, et pesé rapidement. On ne peut le chauffer, car, à la moindre élévation de température, il se colore promptement en jaune-brun.

Azotate d'ammoniaque : AzH^4O, AzO^5.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Ce sel est généralement indiqué comme cristallisant en prisme hexagonal, ce qui a fait supposer à quelques auteurs qu'il était isomorphe avec le nitre. Cette suppo-

sition n'est pas exacte; il est facile de s'assurer que le prisme est beaucoup plus voisin d'un prisme rectangulaire que d'un prisme obtus de 120 degrés.

Ses cristaux, le plus souvent très-allongés et aciculaires, sont rarement terminés. Le plus souvent ils ne sont que quadrangulaires; s'ils offrent parfois une indication des faces E, je ne les ai jamais vues nettes et planes. Quand le sommet existe, il est formé tantôt par le biseau *e*, tantôt par un pointement pyramidal *m*; rarement ces deux formes sont réunies. Enfin quelquefois on observe entre *e* et *m* de petites faces $n(2a : b : c)$, très-minces, un peu courbes (*fig.* 17).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	95° 40′	* 95° 40′	$e \wedge e$ =	86° 51′	87°
M : *m* =	147 34	* 147 34	*e* : *n* =	158 9	157 à 160°
$m \wedge m$ =	64 52	65 0	*e* : *m* =	141 16	141 11′
m — *m* =	110 59	111 6	*m* ‿ *m* =	102 33	102 20
M : *e* =	119 11	119 à 120			

Ce sel ne perd rien de son poids à une température de 100 degrés. Je l'ai calciné dans un tube avec du cuivre métallique en recueillant l'eau dans un tube de ponce sulfurique. J'ai obtenu ainsi, pour 1 gr. de sel, 0,453 d'eau. La formule admise correspond à 0,450. Analyse.

Ce sel ne renferme donc pas d'eau de cristallisation, comme l'a supposé M. Dumas dans son *Traité de chimie*.

AZOTATE DE CUIVRE AMMONIACAL : CuO, AzO^5, $2AzH^3$.

Prisme rhomboïdal droit. Forme primitive.

Cristaux prismatiques d'un bleu foncé, formés le plus souvent du prisme M, terminé par le biseau *e* placé sur les angles latéraux. Quelquefois les arêtes obtuses du prisme sont tronquées par les faces A; plus rarement on observe en outre les faces $a^{1/4}$ (*fig.* 18) et les prismes N $(2a : b : \infty c)$ et R $(4a : 3b : \infty c)$.

Souvent les cristaux sont maclés parallèlement à A; Hémitropie.

les faces *e* sont communes et ne donnent qu'une seule image. Deux faces $a^{1/4}$ forment alors un angle rentrant; en général, dans ce cas, les faces extérieures correspondantes n'existent pas (*fig.* 19).

Les faces du prisme sont striées verticalement :

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	122°35′	*122°35′	A : $a^{1/4}$ =	106°10′	106°15′
A : M =	151 17	151 10	e : $a^{1/4}$ =	144 10	144 15
A : R =	143 52	144 0	M : e =	106 55	105 10
A : N =	132 24	132 30	A : e =	90 0	90 0 à 15′
$e \wedge e$ =	115 10	*115 10	N : e =	113 19	113 16

Analyse. Le dosage de l'oxyde de cuivre ne peut se faire sans projection lorsqu'on calcine le sel seul; mais en ajoutant un poids connu de magnésie récemment calcinée, l'opération se fait sans difficulté. La détermination de l'ammoniaque se fait aisément par l'addition d'acide sulfurique titré qui fait naître, dans la dissolution du sel, un précipité qui ne disparaît qu'à l'instant où tout l'ammoniaque est saturé.

2g,225 ont laissé 0,677 d'oxyde de cuivre, soit 30,43 p. 100.

1g,500 ont exigé 0,925 d'acide sulfurique (SO^3), correspondant à 0,3931 d'ammoniaque (AzH^3), ou 26,21 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
CuO	496	31,08	30,43
AzO^5	675	42,29	»
2 AzH^3	425	26,63	26,21
	1596	100,00	

Cette analyse est conforme à celle que Kane avait déjà faite de ce composé.

AZOTATE D'ARGENT AMMONIACAL : AgO, AzO^5, 2AzH^3.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Cristaux prismatiques très-allongés, très-nets et éclatants. Ils sont formés du prisme M, tronqué laté-

ralement par les faces E, et terminé par le biseau *e* (*fig.* 20).

	Calculé.	Calculé.		Calculé.	Observé.
M — M =	105° 46′	*105° 46′	*e* ∧ *e* =	118° 32′	*118° 32′
E : M =	127 7	127 15	E : *e* =	120 44	120 40
M : *e* =	107 58	107 59			

On pourrait à la rigueur rapprocher cette forme de celle du sel précédent; seulement il faudrait pour cela prendre pour prisme primitif, dans ce dernier sel, le prisme R (107° 54′), qui ne se rencontre pas fréquemment.

Le sel ne perd rien de son poids à une température de 100 degrés. Analyse.

0g,973 ont donné 0,683 de chlorure d'argent, correspondant à 0,5523 d'oxyde, ou 56,76 p. 100, conformément à la formule qui en exige 56,86, et qui a du reste été établie par les analyses de C.-G. Mitscherlich et de Kane.

SULFITE NEUTRE D'AMMONIAQUE : AzH^4O, SO^2 + Aq.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

La forme dominante est le prisme rhomboïdal M, terminé par la base oblique P. Mais presque toujours les arêtes aiguës sont remplacées par le prisme obtus N ($a : 2b : \infty c$); plus rarement elles portent encore les faces A. On trouve encore les faces *e* sur les angles latéraux, a^2 sur l'angle inférieur et μ sur les arêtes postérieures de la base (*fig.* 21).

Aux angles que j'ai mesurés, je joins ceux qu'a observés M. Rammelsberg sur des cristaux qu'il considère, je crois à tort, comme appartenant à un bisulfite d'ammoniaque (1).

(1) *Die neuesten Forschungen in der crystallographischen Chemie*, von C.-F. Rammelsberg. Leipzig, 1857, page 26.

	Calculé.	Observé.	Rammelsberg.
M — M =	67° 0′	* 67° 0′	66° 30′
N — N =	105 52	106 0	
M : N =	160 34	160 30	160 20
A : M =	123 30	123 35	
P : M =	94 24	* 94 24	94 8
P : μ =	44 58	44 40	45 12
P : *e* =	142 12	* 142 12	141 22
e ∧ *e* =	104 24	104 20	103 20
P : N =	96 22	96 20	»
P : A =	97 59	97 50	97 22
P : α² =	49 52	49 40	49 40
μ — μ =	107 33	107 45	
M : *e* =	124 52	124 48	
M : *e′* =	116 47	117 0	
α² : M =	111 37	111 40	
α² : N =	122 11	122 4	
α² : *e* =	59 23		

Angle plan de la base, 66° 29′.

Analyse.

L'acide sulfureux a été déterminé au moyen d'une dissolution titrée d'iode; mais j'ai également dosé l'acide sulfurique produit par cette oxydation, afin de m'assurer que le sel ne renfermait pas une proportion trop sensible de sulfate, qui résulte facilement de l'action que l'air exerce sur lui. L'ammoniaque a été déterminée en décomposant le sel par l'ébullition avec de l'acide chlorydrique, puis évaporant à siccité au bain-marie.

1g,305 ont exigé 2,377 d'iode, correspondant à 0,5998 d'acide sulfureux, ou 45,96 p. 100; la dissolution, précipitée par le chlorure de baryum, a donné 2,238 de sulfate de baryte, correspondant à 0,6144 d'acide sulfureux, ou 47,08 p. 100.

1g,386 ont donné 1,096 de sel ammoniac, contenant 0,3486 d'ammoniaque (AzH^3), ou 25,15 p. 100.

1g,009 ont donné 0,798 de sel ammoniac, ou 0,2538 d'ammoniaque, soit encore 25,15 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
SO^2	400	47,76	45,96	47,08
AzH^3	212,5	25,37	25,15	25,15
2 HO	225	26,87		
	837,5	100,00		

Cette composition est conforme à celle que M. Muspratt a attribuée à ce sel.

Il me semble impossible de douter que les cristaux mesurés par M. Rammelsberg appartiennent à cette même espèce. Cependant, d'après son analyse, dont il ne rapporte pas le détail, il leur assigne la formule $AzH^4O, 2SO^2 + 5Aq$. Il m'est impossible d'expliquer cette différence, à moins de supposer que ce savant, partant d'une idée préconçue sur la constitution de ce sel, se soit borné au dosage de l'acide sulfureux. On doit remarquer en effet que sa formule correspond à 47,41 p. 100 d'acide sulfureux, c'est-à-dire presque exactement à la proportion qui entre dans le sulfite neutre.

Ce sel neutre paraît très-stable. D'une part, en effet, il se forme, quelque grand que soit l'excès d'ammoniaque dans la dissolution. Il m'a été impossible d'obtenir un sel basique, bien que j'aie cherché à suivre les indications de M. Muspratt, qui a annoncé l'existence d'une pareille combinaison (1). D'un autre côté, si l'on fait bouillir sa dissolution, ce qui en chasse une partie de l'ammoniaque, il cristallise encore dans la dissolution, qui a une réaction acide, pourvu cependant que l'ébullition n'ait pas été prolongée par trop longtemps. Formation.

Je l'ai obtenu indifféremment, soit par l'addition d'alcool sur une dissolution saturée d'ammoniaque, soit par le refroidissement d'une dissolution concentrée par la chaleur. Il n'est pas déliquescent et se conserve assez longtemps à l'air. A la longue, cependant, il est converti en sulfate.

---

(1) *Annalen der chemie und pharmacie*, tome LXIV, page 241.

Bisulfite d'ammoniaque : AzH^4O, $2SO^2$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Cristaux assez gros, parfaitement limpides et très-nets, mais assez déliquescents pour rendre les mesures assez incertaines.

Ils sont formés du prisme M, largement tronqué par les faces latérales E, et terminé par le biseau *e* (*fig.* 22). Ils se clivent très-facilement et nettement, suivant le plan diagonal E.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	129° 20′	»	E : *e* =	112° 0	111 à 113°
E : M =	115 20	114 à 116°	*e* — *e* =	136 0	
M : *e* =	99 13	98 à 101			

J'ai obtenu ce sel en faisant évaporer dans le vide, en présence d'acide sulfurique, une dissolution de sulfite d'ammoniaque saturée d'acide sulfureux. Il est très-soluble, l'eau-mère est sirupeuse. Il exhale fortement l'odeur de l'acide sulfureux.

Analyse. 1^g,454, décomposés par l'acide chlorhydrique, ont donné 0,855 de sel ammoniac, correspondant à 0,4158 d'ammoniaque (AzH^4O), soit 28,59 p. 100.

0,654 ont exigé 1,785 d'iode = 0,4505 d'acide sulfureux, ou 68,88 p. 100.

0,447 ont exigé 1,230 d'iode = 0,3104 d'acide sulfureux, ou 69,44.

		Calculé.	Trouvé.	
2 SO^2	800	71,11	68,88	69,44
AzH^4O	325	28,89	28,59	
	1125	100,00		

La proportion d'acide sulfureux est de près de 2 p. 100 inférieure à ce qu'exigerait la formule, mais il n'y a pas lieu d'en être très-surpris, en raison de la facilité avec laquelle ce sel perd cet acide. Il est d'ailleurs difficile, à cause de sa déliquescence, qu'il ne contienne pas accidentellement un peu d'eau. Mais il serait impossible

d'y supposer un équivalent d'eau, autrement la perte aurait dû s'élever à 9 p. 100 et non pas à 2 p. 100 seulement.

Du reste, la composition de ce bisulfite avait été déjà établie par Muspratt.

Sulfite ammonico-sodique : $2NaO, AzH^4O, HO, 4SO^2 + 8Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. **Forme primitive.**

Ce sel cristallise en lames minces, rhomboïdales; ses cristaux sont très-nets et ne s'altèrent pas à l'air. Ils sont formés du prisme rhomboïdal M et de sa base oblique P; l'angle inférieur est tronqué par les faces α et α^2 (*fig.* 23).

Il m'a paru exister des clivages, mais peu nets, suivant des faces μ qui, d'ailleurs, ne se présentent pas sur les cristaux.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M—M =	97° 52′	* 97° 52′	P : (MM′) =	152° 12′	
P : M =	131 50	* 131 50	P : α^2 =	140 3	* 140° 3′
P : μ =	103 2	102 38	P : α =	116 8	116 10
M : α =	127 33	127 40	M : α^2 =	137 29	137 16
μ : μ =	61 36				

Angle plan de la base : 56° 18′.

$0^g,500$ ont exigé 0,850 d'iode = 0,2145 d'acide sulfureux, ou 42,90 p. 100. **Analyse.**

1 gr. a produit 0,469 de sulfate de soude = 0,2052 de soude.

1 gr. a produit 0,471 de sulfate de soude = 0,2061 de soude.

2 gr., décomposés par l'acide chlorhydrique, ont laissé, après évaporation à siccité, 1,147 de chlorures, qui se sont réduits par calcination à 0,777 de chlorure de sodium, correspondant à 0,4128 de soude, ou 20,64 p. 100. Il y avait donc 0,370 de sel ammoniac, ou 0,1800 d'ammoniaque (AzH^4O), soit 9 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.		
$4SO^2$	1600	43,06	42,90		
$2NaO$	778	20,94	20,52	20,61	20,64
AzH^4O	325	8,75	9,00		
$9HO$	1012,5	27,25			
	3715,5	100,00			

SULFITE DE SOUDE : $NaO, SO^2 + 7$ Aq.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Bien que ce sel ait été décrit très-exactement par M. Rammelsberg, je profite de ce qu'une divergence relative à son analyse me le fait mentionner, pour faire connaître les formes que j'ai observées, et parmi lesquelles se trouvent des faces qui n'avaient pas été signalées.

Outre les faces P, M, A, a, α^2 et $n(a : \frac{2}{5}b : c)$, décrites par M. Rammelsberg, j'ai observé les faces $r(\frac{1}{5}a : \frac{1}{3}b : \frac{1}{2}c)$ et $\sigma(a : \frac{1}{3}b : -\frac{1}{2}c)$ *fig.* 24. Je n'ai jamais rencontré la face ν $(a : \frac{2}{3}b : -c)$ indiquée par M. Rammelsberg. Diffère-t-elle réellement de σ que j'ai rencontrée sur tous les cristaux, et dont la position est parfaitement fixée par les zones auxquelles elle appartient?

	Calculé.	Observé.	R. (1).
M — M =	65° 0′	* 65° 0′	65° 0′
A : M =	122 30	122 30	122 30
P : a =	144 40	*144 40	145 08
P : A =	93 36	*93 36	93 36
P : α^2 =	58 35	58 44	58 6
P : M =	91 56	92 0	92 28
P : n =	118 50	118 50	119 en.
P : ν =	63 22	»	62 12
P : r =	113 39	113 48	
P : σ =	61 22	61 20	
n — n =	72 29	72 25	
a : n =	126 14	126 13	125 45

	Calculé.	Observé.
ν — ν =	69° 13′	
σ — σ =	61 40	
r — r =	102 5	
A : r =	133 38	133° 50′
A : n =	111 48	111 40
A : σ =	81 17	81 5
a : r =	135 26	135 30
a : M =	109 44	109 45
a : σ =	73 24	73 10
α^2 : M =	116 6	115 55
α^2 : σ =	66 6	65 58
M : n =	151 37	151 50
M : n' =	118 44	118 52

Angle plan de la base : 64° 54′.

Les cristaux sont très-éclatants, volumineux, mais

(1) Angles observés par M. Rammelsberg.

s'effleurissent assez promptement à l'air; cependant on peut en mesurer les angles assez exactement.

Analyse.

M. Muspratt avait attribué à ce sel la formule NaO, $SO^2 + 10Aq$. M. Rammelsberg, dans un mémoire sur les sulfites (1), a montré l'inexactitude de cette formule, et admis dans ce sel sept équivalents d'eau. Mais il paraît qu'une analyse postérieure a modifié son opinion, car, dans son Traité, il attribue à ces cristaux six équivalents d'eau seulement.

Toutes mes analyses s'accordent exactement avec les premières de M. Rammelsberg, et me paraissent établir d'une manière certaine la présence de sept équivalents d'eau.

1g,456 ont perdu à 120 degrés 0,730 d'eau = 50,13 p. 100, et donné, par calcination avec de l'acide sulfurique, 0,812 de sulfate = 0,3553 de soude, ou 24,40 p. 100.

1g,400 ont perdu à 150 degrés 0,700 d'eau = 50 p. 100, et donné 0,785 de sulfate, correspondant à 0,3435 de soude ou 24,54 p. 100.

0,300 ont exigé 0,302 d'iode correspondant à 0,0762 d'acide sulfureux = 25,40 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
NaO	389	24,67	24,40	24,54
SO^2	400	25,37	25,40	
7Aq	787,5	49,96	50,13	50,00
	1576,5	100,00		

Les cristaux avaient toujours été écrasés et séchés entre des feuilles de papier à filtre.

Bien que ce sel ait une constitution analogue à celle de l'un des carbonates de soude, il n'appartient nullement au même système cristallin. Du reste mes re-

(1) *Poggendorffs Annalen*, t. LXVII, p. 246.

cherches, de même que celles de M. Rammelsberg, ne confirment nullement l'analogie que M. Muspratt avait cru pouvoir établir entre les sulfites et les carbonates.

Bisulfite de potasse.

Ce sel peut exister, soit anhydre, soit avec un équivalent d'eau, comme M. Muspratt l'a annoncé le premier. J'ai obtenu tantôt l'un, tantôt l'autre de ces composés, sans pouvoir préciser les conditions qui déterminent leur formation.

Bisulfite de potasse hydraté : KO, HO, $2SO^2$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Les cristaux se composent du prisme M, de la base P, de la face antérieure A, et des faces $a^{1/5}$, a et $\alpha^{1/3}$. Ils portent aussi quelquefois les faces $\nu(a : \frac{1}{2}b : -c)$ (*fig.* 25).

Ils sont toujours aciculaires, allongés suivant l'axe *b*, et n'offrent qu'une seule des extrémités de cet axe. Toutes les faces parallèles à cet axe sont striées suivant sa longueur, en sorte que les mesures, dans cette zone, sont un peu incertaines.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	94° 30′		P : $a^{1/5}$ =	154° 41	155° env.
M ⌣ M =	85 30	*85° 30′	P : a =	116 5	116 10
A : M =	137 15	137 15	P : A =	94 46	
P : M =	93 30	*93 30	P : $\alpha^{1/3}$ =	41 24	40 à 43°
a : M =	133 10	*133 10	M : $a^{1/5}$ =	111 36	111 à 112
a : ν =	110 47	110 30	M : $\alpha^{1/3}$ =	115 59	115 à 117
P : ν =	81 18		ν — ν =	59 3	

Angle plan de la base : 94° 18′.

Analyse. $0^g,200$ ont exigé 0,435 d'iode = 0,1097 d'acide sulfureux ou 54,85 p. 100. La dissolution précipitée par le chlorure de baryum a donné 0,396 de sulfate de baryte, correspondant à 0,1087 d'acide sulfureux ou 54,35 p. 100.

1 gr., traité par l'acide sulfurique, a donné 0,745 de sulfate de potasse, contenant 0,4019 de potasse.

		Calculé.	Trouvé.	
KO	589	39,23	40,19	
$2SO^2$	800	53,28	54,33	54,85
HO	112,5	7,49		
	1501,5	100,00		

BISULFITE DE POTASSE ANHYDRE : KO, $2SO^2$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Tous les cristaux que j'ai observés sont doublement mâclés suivant deux plans rectangulaires : l'un dirigé suivant le plan diagonal de symétrie, hémitropie qui ne change rien à la symétrie des cristaux, mais donne lieu à un étranglement dans le milieu des cristaux ; l'autre suivant le plan de la base.

Les faces observées sont :

Deux prismes rhomboïdaux, M et N$(a : 2b : \infty c)$, et la base P.

Sur les angles antérieurs du prisme, les faces $a^{1/2}$, $\alpha^{11/4}$, a^2 et α ; les deux dernières seules sont bien nettes.

Sur les arêtes antérieures (PN), les faces $n^2 (a : 2b : 2c)$.

Sur les arêtes postérieures (PM), les faces $\mu^{1/2}$ $(a : b : -\frac{1}{2}c)$.

Les faces ρ $(\frac{1}{3}a : b : -c)$, et à côté d'elles les faces x courbes et indéterminables.

Les cristaux sont aplatis parallèlement à la base P, et surtout allongés dans le sens de l'axe latéral b. Ils offrent un clivage très-net et facile suivant la face α.

La *fig.* 26 représente la disposition la plus habituelle de ces cristaux. Un cristal principal est flanqué, sur ses deux bases, de deux cristaux plus petits bordant, l'un (le supérieur) ses arêtes antérieures ; l'autre (l'inférieur) ses arêtes postérieures : ils sont tournés, l'un et l'autre, en sens inverse du cristal principal ; en sorte Hémitropie.

qu'ils pourraient être considérés comme les deux prolongements d'un même cristal qui traverserait le cristal principal. Le supérieur est seul représenté sur la figure; il règne un angle rentrant en gouttière entre les faces correspondantes ρ et ρ', $\alpha^{11/4}$ et $\alpha'^{11/4}$. Les faces postérieures des deux cristaux supplémentaires sont indéterminées et résultent de surfaces courbes.

Lorsque le groupement a lieu entre deux cristaux seulement d'égale dimension, les faces antérieures sont seules déterminables et disposées comme dans la mâcle précédente; par derrière, les deux cristaux se terminent par des surfaces courbes que l'on peut rapporter surtout aux faces x et α, comme on le voit dans la *fig.* 27, qui a été retournée pour montrer cette disposition.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M—M	= 85° 0'	*85° 0'	α : M	= 98° 38'	*98° 38'
N—N	= 122 46	»	α : $\mu^{1/2}$	= 42 17	42
M : N	= 161 7	161 30	α : ρ	= 121 19	121 10
P : M	= 116 44	*116 44	α : N	= 101 15	101 5
P : $\mu^{1/2}$	= 37 28	38	α^2 : ρ	= 151 37	151 40
P : n^2	= 143 49	143	α^2 : M	= 122 52	123 10
P : N	= 125 46	125 50	M : $\alpha^{11/4}$	= 127 55	127 à 128
P : $a^{1/2}$	= 166 17	166 à 168	N : $\alpha^{11/4}$	= 142 59	142 à 143
P : (MM)	= 131 45	»	ρ — ρ	= 130 41	130 40
P : ($\rho\rho$)	= 109 42	»	P : ρ	= 107 50	107 49
P : $\alpha^{11/4}$	= 107 11	107 à 108	M : ρ	= 151 14	151 25
P : α^2	= 95 11	95 18	N : ρ	= 159 56	160 12
P : α	= 64 35	64 30	$\alpha^{11/4}$: ρ	= 155 13	154 à 156
$\mu^{1/2}$—$\mu^{1/2}$	= 119 44		P : x	=	130 à 140
n^2—n^2	= 139 13		N : x	=	160 à 170

Les cristaux sont assez éclatants et ne s'altèrent point, mais souvent leurs faces donnent des images multiples. Les angles mesurés offrent souvent d'assez fortes variations d'un cristal à un autre; les mesures rapportées dans le tableau ci-dessus sont comme, du reste, dans toutes les autres déterminations, les moyennes d'un grand nombre d'observations.

Analyse. 1 gr. a exigé 2,225 d'iode, correspondant à 0,5691

d'acide sulfureux, et produit 2,075 de sulfate de baryte, ou 0,5696 d'acide sulfureux.

1 gr., traité par l'acide sulfurique, a donné 0,790 de sulfate de potasse, contenant 0,4273 de potasse.

		Calculé.	Trouvé.	
KO	589	42,41	42,73	
$2SO^2$	800	57,59	56,91	56,96
	1389	100,00		

SULFITE DE MAGNÉSIE : $MgO, SO^2 + 6Aq$.

Rhomboèdre. Forme primitive.

Je ne cite ce sel, exactement décrit dans le Traité de M. Rammelsberg, que pour confirmer la composition que lui attribue ce savant, contrairement à l'analyse de M. Muspratt, qui n'y avait trouvé que trois équivalents d'eau.

SULFITE AMMONIACO-MAGNÉSIEN : $3MgO, AzH^4O, 4SO^2 + 18Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

M. Rammelsberg a décrit ce sel comme appartenant au prisme oblique non symétrique; toutefois il ne donne ses mesures que comme approximatives, et ne les a pas jugées assez exactes pour calculer la forme primitive.

L'existence habituelle de stries, et souvent aussi de doubles images, m'a laissé aussi longtemps incertain sur le système de cristallisation; toutefois les cristaux les plus nets m'ont donné des mesures qui s'accordent très-bien avec l'hypothèse d'un prisme oblique symétrique.

Ces cristaux, toujours allongés suivant l'axe latéral b, offrent le prisme primitif M, et, très-rarement, un second prisme N$(a : \frac{1}{3}b : \infty c)$. Dans la zone parallèle à l'axe b, les faces P et A dominent et existent souvent seules; mais quelquefois on trouve les faces $a^{1/3}$ et $a^{2/3}$. Enfin les arêtes postérieures de la base sont souvent tronquées par les faces μ (*fig.* 28).

Presque toujours l'une des faces M est beaucoup plus développée que l'autre; ce qui donne aux cristaux l'apparence de prismes non symétriques P, A, terminés par une base oblique M.

	Calculé.	Observé.	Angles observés par M. Rammelsberg.
M —M =	64° 0'	*64° 0'	65° 15'
N —N =	23 32	23 40	
A : M =	122 0	122 10	122 45 — 122°30'
A : N =	101 46	101 50	
P : M =	107 50	*107 50	106 10
P : μ =	47 10	*47 10	45 40
M : μ =	119 20		119 40
P : A =	125 18	125 20	124 22
A : $\alpha^{4}/^{3}$ =	91 9	91 0	
A : $\alpha^{2}/^{3}$ =	71 1	71 10	
μ —μ =	98 25	98 10	
A : μ =	83 3	83 8	
M : $\alpha^{2}/^{3}$ =	80 5	80 20	
$\alpha^{2}/^{3}$: μ =	138 26	138 32	
M ⌣ μ =	128 11	128 20	

Angle plan de la base : 54°2'.

Il existe un clivage net parallèle aux faces A. Les cristaux sont striés parallèlement à l'axe latéral *b*.

Analyse. $0^{g},737$ ont exigé 0,965 d'iode = 0,2435 d'acide sulfureux, ou 33,04 p. 100.

$0^{g},374$ ont exigé 0,480 d'iode = 0,1211 d'acide sulfureux, ou 32,38 p. 100.

1,087, traités par l'acide sulfurique, ont produit 0,515 de sulfate de magnésie, contenant 0,1740 de magnésie, ou 16,00 p. 100.

1,390, traités par l'acide chlorhydrique, le bichlorure de platine et l'alcool, ont donné 0,827 de chlorure double, correspondant à 0,0963 d'ammoniaque, ou 6,93 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
$4SO^2$	1600	33,98	33,04	32,38
3MgO	759	16,12	16,00	
Az H^4O	325	6,90	6,93	
18Aq	2025	43,00		
	4709	100,00		

Composition conforme à celle que M. Rammelsberg a assignée à ce sel double.



SULFITE DE ZINC : 2 (ZnO, SO^2) + 5 Aq.

Prisme rhomboïdal oblique? Forme primitive.

Cristaux très-petits, très-brillants, inaltérables à l'air, mais dont la plupart des faces donnent des images multiples, en sorte qu'il reste beaucoup d'incertitude sur leur détermination.

J'ai observé très-rarement de fort petits cristaux grenus, offrant une assez grande symétrie (*fig.* 29). Ils se composent de la base P et du prisme M, tronqué sur ses arêtes par les faces A et E. Les arêtes et les angles de la base portent les facettes *m*, *a*, *e*.

La plupart des cristaux sont aplatis suivant la base, et allongés parallèlement à l'axe latéral *b*. Ils ne présentent, en général, que les faces P, A, M et *e*. Mais ces deux dernières sont presque toujours hémièdres (*fig.* 30). Quelquefois les cristaux de cette dernière forme sont mâclés parallèlement à E (*fig.* 31), ce qui ne paraît pas altérer la continuité des faces P et A.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	100° 20′		P : *m* =	129° 45′	129° 10′
A : M =	140 10	*140° 10′	P : M =	92 49	92 50
A : E =	90 0	90 env.	E : *m* =	119 32	119 40
P : *e* =	140 40	*140 40	E : *a* =	90 0	90 env.
e V *e* =	101 20		*m* — *m* =	120 55	»
P : E =	90 0	90 env.	A : *m* =	129 1	128 30
P : *a* =	137 19	137 10	A : *e* =	92 50	92 45
P : A =	93 40	*93 40	M : *a* =	123 45	123 40
A : *a* =	136 21		M : *e′* =	68 24	68 30
M : *e* =	116 22	116 42	*a* : *e* =	124 39	124 30

Angle plan de la base : 100°13′.

Sur la plupart des angles les variations dépassent le plus souvent 1/2 degré. Il suit de là qu'on pourrait aussi bien rapporter ces cristaux à un prisme non symétrique, ou, au contraire, à un prisme rhomboïdal droit ou

oblique, dans lequel P et A seraient les faces du prisme, M et *e* celles de l'octaèdre terminal.

Formation. Ce sel, très-peu soluble dans l'eau, a été obtenu soit en laissant évaporer une dissolution d'oxyde de zinc dans l'acide sulfureux en excès, soit en ajoutant à une dissolution de chlorure de zinc du sulfite d'ammoniaque. Il ne paraît pas se former de sel double.

Analyse. 0g,200 ont exigé 0,260 d'iode = 0,0656 d'acide sulfureux, ou 32,80 p. 100, et produit 0,246 de sulfate de baryte = 0,0675 d'acide sulfureux, ou 33,75 p. 100.

0g,300 ont exigé 0,405 d'iode = 0,1022 d'acide sulfureux, ou 34,06 p. 100, et produit 0,374 de sulfate de baryte = 0,1026 d'acide sulfureux, ou 34,20 p. 100.

L'oxyde de zinc se dose exactement en soumettant le sel à une très-forte calcination accompagnée d'un grillage. J'ai obtenu ainsi dans quatre essais faits sur des produits de préparations différentes : 42,70, 42,42, 42,20 et 42,25 p. 100 d'oxyde.

		Calculé.	Trouvé.			
2ZnO	1010	42,57	42,70	42,42	42,20	42,25
$2SO^2$	800	33,72	32,80	33,75	34,06	34,20
5Aq	562,5	23,71				
	2372,5	100,00				

Ces résultats confirment entièrement la formule qui a été attribuée à ce sel par M. Rammelsberg. M. Muspratt l'avait représenté par la formule ZnO, $SO^2 + 2Aq$.

SULFATE 4/3 ACIDE D'AMMONIAQUE : 3 AzH^4O, HO, 4 SO^3.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Ce sel se présente sous la forme de lames rhomboïdales, en général fort minces, mais très-nettes et non déliquescentes. Ses cristaux se composent de l'octaèdre primitif *m*, *μ*, largement basé, et tronqué sur l'angle antérieur par les faces A, et sur les arêtes latérales par

les faces e. On trouve quelquefois aussi de petites faces $m^{1/3}$ très-minces sur les arêtes Pm (*fig.* 1, Pl. II).

Il est parfaitement isomorphe avec le sel correspondant de potasse, que j'ai décrit dans un mémoire précédent, mais ses cristaux sont bien plus lamellaires.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
P : $m^{1/3}$ =	138° 1′	138° env	P : e =	111° 7′	111° 0′
P : m =	113 50	*113° 50′	A : m =	122 2	122 0
P : μ =	77 9	77 0	A : e =	94 20	
$m - m$ =	75 4	*75 4	A : μ =	64 37	64 50
$\mu - \mu$ =	64 36	65 0	$m \smile \mu$ =	122 35	122 45
P : A =	102 6	*102 6			

Angle plan de la base : 59°48′.

J'ai déterminé l'acide sulfurique en calcinant ce sel avec de la magnésie calcinée; 1g,576 ont perdu ainsi 0,576; il y avait donc 1 gr. d'acide sulfurique, soit 63,45 p. 100. Analyse.

Pour estimer la proportion relative d'acide et de base, j'ai cherché quelle était la quantité de ce sel nécessaire pour neutraliser un poids déterminé de carbonate de soude.

0g,400 de carbonate de soude, correspondant à 0,3012 d'acide sulfurique, ont exigé pour leur neutralisation 1,830 de sel; d'où il résulte que 100 de sel renferment 16,46 d'acide libre. Si l'on compare ce nombre à celui qui exprime la proportion totale de l'acide sulfurique, on voit que le rapport est de 1 : 4.

		Calculé.	Trouvé.
$4SO^3$	2000	64,78	63,45
$5AzH^4O$	975	31,58	
HO	112,5	3,66	
	3087,5	100,00	

L'existence de ce sel avait été déjà signalée par M. Mitscherlich (1), mais je ne crois pas que sa forme eût été décrite.

(1) *Poggendorffs Annalen*, t. XXXIX, p. 198.

BISULFATE D'AMMONIAQUE : $AzH^4O, HO; 2 SO^3$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Cristaux prismatiques allongés, composés du prisme rhomboïdal M, et du prisme rectangulaire A E, et terminés par le biseau *e* sur les angles aigus de la base. Les faces du prisme M sont en général très-minces (*fig.* 2).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M	= 117° 0'	116° 50'	E : *e*	= 126° 38'	*126° 38'
A : M	= 148 30	*148 30	*e* V *e*	= 106 44	106 50
A : E	= 90 0	90 0	M : *e*	= 108 10	107 50
A : *e*	= 90 0	90 0			

Ce sel est un peu déliquescent. On l'obtient facilement en faisant dissoudre à chaud du sulfate neutre d'ammoniaque dans l'acide sulfurique concentré. Il cristallise par le refroidissement.

Il ne paraît pas qu'il y ait aucun rapprochement à faire entre la forme de ce sel et celle du bisulfate de potasse.

Analyse. 1 gr. a produit 2,023 de sulfate de baryte, contenant 0,6942 d'acide sulfurique.

1,336 ont exigé pour leur neutralisation 0,6177 de carbonate de soude ; on a porté ensuite la liqueur à l'ébullition, et ajouté de nouveau du carbonate de soude, jusqu'à ce que l'ébullition ne fît plus passer la liqueur colorée par le tournesol à une teinte violacée, comme cela a lieu aussi longtemps qu'il reste encore du sel ammonique non décomposé. Il a fallu ajouter pour cela 0.5879 de carbonate de soude, correspondant à 0,2877 d'ammoniaque (AzH^4O), soit 21,53 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
$2SO^3$	1000	69,56	69,42
AzH^4O	325	22,61	21,53
HO	112,5	7,83	»
	1437,5	100,00	

BISULFATE D'AMMONIAQUE ET ACIDE OXALIQUE : $AzH^4O, HO, 2SO^3 + HO, C^2O^3$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

La forme dominante de ces cristaux est le prisme oblique P, M. On y trouve de plus, comme facettes subordonnées, deux prismes plus obtus : N($a : 2b : \infty c$) et R($a : 3b : \infty c$), les faces A sur les arêtes aiguës du prisme, α et α^2 sur l'angle inférieur (*fig.* 3).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	58° 0′	* 58° 0′	P : A =	117° 20′	* 117° 20′
N — N =	95 54	96 0	P : α^2 =	75 3	
R — R =	117 58	»	P : α =	43 35	
A : R =	148 59	148 57	A : α^2 =	137 43	137 52
A : N =	137 57	138 5	A : α =	106 15	* 106 15
A : M =	119 0	118 56	α : M =	97 48	97 45
P : M =	102 52	103 0	α : N =	101 59	101 30
P : N =	109 56	110 10	α : R =	103 52	
P : R =	113 10				

Les cristaux sont assez nets, quelquefois mâclés parallèlement à A. Ils ne sont presque pas déliquescents.

Je les ai obtenus souvent accidentellement dans des expériences où j'avais eu pour but de préparer l'oxyde de carbone, par l'ébullition de l'oxalate d'ammoniaque avec l'acide sulfurique concentré, lorsque l'ébullition n'avait pas été prolongée trop longtemps. Formation.

C'est dans ces mêmes circonstances, lorsque la décomposition a été plus complète, que se sont formés les plus beaux cristaux de bisulfate d'ammoniaque. Toutefois j'ai constaté qu'on peut les obtenir également sans la présence de l'acide oxalique.

Ce composé ne peut être redissous dans l'eau, et soumis de nouveau à la cristallisation, sans se décomposer en partie; les premiers cristaux qui se forment ne sont que de l'acide oxalique.

1^g,785 ont produit 2,647 de sulfate de baryte, contenant 0,9084 d'acide sulfurique, ou 50,89 p. 100. Analyse.

L'addition d'ammoniaque a déterminé un nouveau précipité d'oxalate, qui a donné, par calcination, 1,027 de carbonate de baryte, correspondant à 0,3751 d'acide oxalique, ou 21,01 p. 100.

La détermination de l'ammoniaque, et en même temps celle du rapport entre l'acide et la base, a été faite comme dans l'analyse du sel précédent. Dans la dissolution d'un poids connu du sel, colorée par la teinture de tournesol, on verse une dissolution titrée de carbonate de soude jusqu'à neutralisation; puis on porte la liqueur à l'ébullition, et l'on ajoute de nouveau peu à peu du carbonate de soude jusqu'à ce que la coloration bleue devienne permanente, c'est-à-dire jusqu'à expulsion complète de l'ammoniaque.

1g,154 de sel ont exigé, pour leur neutralisation, 0,7632 de carbonate de soude; puis, pour l'expulsion de l'ammoniaque, 0,3696 de carbonate, correspondant à 0,1809 d'ammoniaque (AzH^4O), soit 15,67 p. 100.

1g,645 ont exigé 1,0956 de carbonate pour la neutralisation, puis 0,5101 pour l'expulsion de l'ammoniaque; ce qui correspond à 0,2497 d'ammoniaque, soit 15,18 p. 100.

On voit que dans ces deux essais le rapport entre les quantités de carbonate de soude est sensiblement de 1 : 2; le rapport entre la base et les acides est donc de 1 : 3. L'expérience donne un peu plus de 3; ce qui n'est pas très-surprenant dans un sel qui ne se forme qu'au milieu d'un excès d'acide sulfurique.

		Calculé.	Trouvé.	
2 SO^3	1000	50,00	50,89	
C^2O^3	450	22,50	21,01	
AzH^4O	325	16,25	15,67	15,18
2 HO	225	11,25		
	2000	100,00		

On peut considérer ce corps comme composé de bi-

sulfate d'ammoniaque et d'acide oxalique libre. On pourrait aussi y voir un sulfate double dans lequel l'acide oxalique jouerait le rôle de base par rapport à l'acide sulfurique : AzH^4O, SO^3 ; $C^2O^3, SO^3 + 2Aq$.

SULFATE DE SOUDE : $NaO, SO^3 + 7Aq$.

Prisme rhomboïdal droit? ou prisme quarré? Forme primitive.

On connaît les circonstances dans lesquelles ce sel se produit. Elles ont été surtout étudiées à fond par M. Lœvel. Une dissolution de sulfate de soude, concentrée par l'ébullition jusqu'à ce qu'elle ait laissé déposer une certaine quantité de sel anhydre, puis recouverte d'une plaque de verre ou d'une cloche, laisse déposer du jour au lendemain de beaux cristaux de sulfate à 7 Aq. L'eau mère reste sursaturée ; en sorte que, dès qu'on la décante au contact de l'air, elle se prend en une masse de cristaux aciculaires à 10 Aq. Formation.

Les cristaux obtenus sont très-beaux et transparents ; mais, dès qu'on les sort, ils deviennent ternes et mats, rugueux même, par suite d'un changement de structure, ou seulement par la cristallisation subite de l'eau mère dont ils sont imprégnés. Il résulte de là qu'il est impossible d'en mesurer les angles avec quelque exactitude. J'ai essayé sans succès d'ajouter d'autres sels dans la dissolution du sulfate de soude, artifice qui réussit bien lorsqu'il s'agit du carbonate de soude à 7 Aq, dont les cristaux conservent très-bien leur éclat lorsqu'ils se sont formés dans une dissolution contenant du chlorure de sodium ou de l'azotate de soude.

Je ne puis donc indiquer leur forme qu'avec quelque doute.

L'incertitude que présente la mesure de leurs angles permettrait de les rapporter au système prismatique quarré. Dans ce cas, les cristaux se composeraient de

deux octaèdres quarrés m et m^2, et de la base P. Toutefois, l'allongement constant des cristaux dans le sens de l'un des axes horizontaux me paraît peu en faveur de cette supposition, et il me semble plus convenable de les rapporter au prisme rhomboïdal droit.

Description. Dans cette hypothèse, les cristaux, allongés suivant l'axe vertical, se composent des prismes M et N(a : 3b : ∞c), et de la face E sur les arêtes latérales. Ils sont terminés par les biseaux e et $e^{1/3}$ (*fig.* 4).

En voici les angles approximatifs :

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	92° 40′		$e \wedge e$ =	92° 0′	
E : M =	133 40	133° à 135°	E : e =	134 0	133° à 135°
E : N =	107 39	107 à 109	E : $e^{1/3}$ =	107 50	107 à 109
M : e =	118 40	118° 30′ à 119°			

La composition de ce sel a été bien établie par les recherches de M. Lœvel.

SULFATE DE SOUDE ET AZOTATE DE SOUDE :


NaO, AzO^5; 2(NaO, SO^3) + 3Aq.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Lamelles rectangulaires très-minces, d'un éclat un peu nacré. Le plan des lames est formé par les faces diagonales E, et leurs bords résultent, sur deux arêtes opposées, des prismes M et N(a : 3b : ∞c), et, sur les deux autres, de la base P et des facettes e (*fig.* 5).

Leur éclat très-vif et leur inaltérabilité permettent de les mesurer assez exactement malgré leur extrême petitesse.

	Calculé	Observé.		Calculé.	Observé.
E : M =	126° 30′	* 126° 30′	E : e =	124° 25′	* 124° 25′
E : N =	103 51	104 0	E : P =	90 0	90 0
M — M =	107 0	106 54	$e \wedge e$ =	111 10	»
N — N =	152 18	152 20	M : e =	109 39	109 30
P : M =	90 0	90 0	N : e =	97 46	97 30

Formation. J'ai obtenu ce sel double pour la première fois dans les essais signalés plus haut sur la cristallisation du sul-

fate de soude à 7 Aq. Il s'était déposé pendant la concentration dans le vide d'une dissolution saturée d'azotate de soude et sursaturée de sulfate. Mais je l'ai obtenu également plus tard par l'évaporation spontanée dans une capsule simplement recouverte d'une feuille de papier, sans que la dissolution fût sursaturée.

Il peut être chauffé jusqu'au point d'entrer en fusion sans se décomposer et sans perdre autre chose que son eau de cristallisation, qui est, du reste, déjà chassée vers 100 degrés.

1g,323 ont perdu 0,137 d'eau = 10,35 p. 100, et donné, par calcination avec de l'acide sulfurique, 1,116 de sulfate de soude, contenant 0,4883 de soude, soit 36,91 p. 100. Analyse.

1g,303 ont perdu 0,1305 d'eau = 10,02 p. 100, et produit 1,0905 de sulfate de soude, contenant 0,4772 de soude, ou 36,62 p. 100.

1g,230 ont produit 1,161 de sulfate de baryte, contenant 0,3984 d'acide sulfurique, ou 32,39 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
3 NaO	1167	36,70	36,91	36,62
2 SO^3	1000	31,45	32,39	
AzO^5	675	21,23	»	
3 Aq	337,5	10,62	10,35	10,02
	3179,5	100,00		

SULFATE 4/3 ACIDE DE SOUDE : 3NaO, HO, $4SO^3$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Les cristaux de ce sel, chargés d'un grand nombre de modifications, se composent :

Des prismes $S(a : 4b : \infty c)$, $R(a : 2b : \infty c)$, dont les arêtes sont tronquées par les faces A E du prisme rectangulaire, et de la base oblique P;

De l'octaèdre m, $\mu\,(a : b : \pm c)$, et d'un second octaèdre n, $\nu\,(a : \frac{1}{2}b : \pm c)$; enfin, sur l'angle inférieur, on trouve encore les faces $\rho(a : 2b : -c)$ (*fig.* 6).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
R — R =	99° 51′	99° 40′	P : A =	102° 10′	*102° 10′
S — S =	134 22	»	E : n =	146 14	146 20
A : S =	157 11	156 50	E : m =	126 48	*126 48
A : R =	139 55	139 45	m — m =	106 24	106 24
A : E =	90 0	90 0	n — n =	67 51	67 28
E : ν =	150 50	151 0	P : n =	120 2	120 0
E : μ =	131 51	132 7	P : ν =	65 24	65 30
E : ρ =	114 7	114 20	P : R =	99 17	99 15
ρ — ρ =	131 45	»	P : ρ =	58 48	58 32
μ — μ =	96 18	»	A : m =	119 29	119 19
ν — ν =	58 21	»	A : μ =	75 56	76 10
P : m =	136 9	*136 9	A : n =	109 58	109 57
P : μ =	50 30	50 20	A : ν =	80 47	80 44
A : ρ =	107 27	107 30			

Angle du prisme primitif hypothétique : MM = 61° 27′.
Angle plan de la base : 60° 18′.

Les cristaux sont allongés verticalement, en général assez minces, élargis suivant le plan A, quelquefois presque aciculaires. Ils sont assez éclatants et inaltérables à l'air.

Ce sel prend toujours naissance lorsqu'on essaye de faire cristalliser une dissolution de bisulfate de soude; le bisulfate ne cristallise à son tour que lorsqu'il s'est accumulé dans l'eau mère un excès suffisant d'acide sulfurique.

Bien qu'au premier abord il n'y ait aucune ressemblance entre ce sel et les composés correspondants de potasse et d'ammoniaque qui offrent exactement la même constitution, on peut cependant constater leur isomorphisme, s'il n'est pas purement accidentel. Seulement les faces m du sulfate de soude correspondent aux faces $m^{1/3}$, rares dans le sel ammonique, et qui manquent complétement dans le sel de potasse.

Analyse. 1g,115 ont laissé par calcination 0,894 de sulfate neutre, ou 80,18 p. 100.

1g,424 ont laissé par calcination 1,142 de sulfate neutre, ou 80,20 p. 100.

1g,393, calcinés avec de l'oxyde de plomb, ont perdu 0,062 d'eau, ou 4,45 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
3 (NaO, SO^3)	2667	81,32	80,18	80,20
SO^3	500	15,25		
HO	112,5	3,43	4,45	
	3279,5	100,00		

L'existence de ce sel avait aussi été indiquée par M. Mitscherlich (1).

BISULFATE DE SOUDE : $NaO, HO, 2SO^3$.

Prisme oblique non symétrique. Forme primitive.

Les cristaux sont formés du prisme oblique P, M, N, tronqué sur ses arêtes antérieures par les faces A, sur trois des angles de sa base par les facettes *a*, *α* et *e*, et par une facette $n^{1/2}$ sur l'arête P, N (*fig.* 7).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — N	= 104° 40′	*104° 40′	P : M	= 95° 40′	* 95° 40′
A : M	= 141 50	*141 50	M : *a*	= 134 0	133 45
A : N	= 142 50		M : $n^{1/2}$	= 104 24	104 10
P : *a*	= 125 20	*125 20	M : *e*	= 66 40	66 env.
P : A	= 93 19	93 0	N : *a*	= 130 29	»
P : *α*	= 59 21	58 40	M : *α*	= 128 28	128 10
P : $n^{1/2}$	= 135 19	135 env.	A : $n^{1/2}$	= 127 1	
P : N	= 89 40	* 89 40	P : *e*	= 127 14	

Angles plans de la base P :

A : N	= 143° 1′
A : E	= 91 41 30″
A : M	= 38 14 40
M — N	= 104 46 20

Angle plan de la face A : P : M = 94 56 40

Angles plans de la face M :

P : *a*	= 135 25
P : A	= 88 10
P : *α*	= 42 50

Les cristaux sont en général plats, élargis suivant la face M. Les faces $n^{1/2}$, *a*, *α* sont très-petites ; *e* l'est encore plus et ne se rencontre que rarement.

Ils se forment par l'évaporation sur un poêle, à une température de 50 degrés environ, d'une dissolution de Formation.

(1) *Poggendorff's Annalen*, tome XXXIX, page 198.

sulfate de soude chargée d'acide sulfurique en excès. Ils paraissent fort éclatants, mais se ternissent rapidement à l'air. Ils conservent mieux leur éclat si on les sèche dans une étuve ; mais lorsqu'on les en sort, ils se ternissent encore assez promptement, par suite probablement d'une hydratation superficielle, bien qu'ils ne soient pas déliquescents. En raison de cette circonstance, la mesure des angles ne permet pas une grande précision.

Analyse. 1g,251 ont laissé par calcination 0,691 de sulfate neutre = 55,24 p. 100.

1g,309 ont laissé par calcination 0,721 de sulfate neutre = 55,09 p. 100.

1g,177, calcinés avec de l'oxyde de plomb, ont perdu 0,108 d'eau = 9,17 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
NaO, SO^3	889	59,21	55,24	55,09
SO^3	500	33,30	»	
HO	112,5	7,49	9,17	
	1501,5	100,00		

Les résultats de l'analyse sont assez loin de s'accorder avec le calcul. Toutefois, le dosage direct de l'eau ne permet pas de supposer plus d'un équivalent d'eau dans ce sel, et l'excès d'acide sulfurique hydraté indiqué par l'analyse s'explique facilement, puisque ces cristaux ne se forment qu'en présence d'un grand excès de cet acide, et que, en raison de sa fixité, on ne peut les en débarrasser par la dessiccation.

M. Graham avait déjà fait connaître l'existence de ce sel.

BISULFATE DE SOUDE HYDRATÉ : $NaO, HO, 2SO^3 + 2Aq$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Ces cristaux se composent du prisme M et de l'octaèdre $m\mu$. Le plus souvent ils se terminent par un poin-

tement aigu, rarement tronqué par la base P, toujours très-petite et peu distincte. Quelquefois encore on distingue de très-petites faces entre P et μ, probablement $\mu^{1/2}$ (*fig.* 8).

Quelques cristaux, d'un aspect un peu différent (*fig* .9), sont formés des faces M et *m*, et terminés par une face oblique α.

Dans tous les cas, les faces M et *m* sont de beaucoup les plus développées.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M	= 98° 10′	98° 20′	P : (MM)	= 119° 35′	»
P : M	= 111 54	111 45	P : α	= 62 16	»
m : M	= 152 16	152 24	μ — μ	= 97 10	97 0
M : μ	= 137 40	137 33	$\mu^{1/2}$ — $\mu^{1/2}$	= 124 42	»
M : $\mu^{1/2}$	= 109 11	108 env.	α : M	= 114 46	114 20
m — *m*	= 125 36	125 22	α : *m*	= 92 56	92 40

Angle plan de la base : 90° 11′.

Ces cristaux, souvent très-grands, sont allongés suivant l'axe vertical; quelquefois aussi aplatis suivant une face M. Ils sont assez nets et limpides; se conservent passablement à l'air; cependant leur surface s'humecte facilement lorsque l'atmosphère est humide. Ainsi leurs angles ne peuvent être mesurés avec une grande précision.

Ce sel prend facilement naissance par le refroidissement d'une dissolution renfermant de l'acide sulfurique en excès. C'est probablement celui qui a été signalé par Berzélius, par Thomson qui a cru qu'il renfermait trois équivalents d'eau de cristallisation, et par Brandes qui en a donné une analyse exacte. Préparation.

1g,710 ont donné 0,862 de sulfate neutre = 50,41 p. 100. Analyse.

1g,772, calcinés avec de l'oxyde de plomb, ont perdu 0,373 d'eau = 21,05 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.
NaO, SO^3	889	51,49	50,41
SO^3	500	28,96	»
$3\ HO$	337,5	19,55	21,65
	1726,5	100,00	

L'analyse donne un petit excès d'eau, qu'explique la facilité avec laquelle ce sel absorbe l'humidité atmosphérique, mais qui ne peut laisser d'incertitude sur sa formule.

SULFATE DE MAGNÉSIE RHOMBOÈDRIQUE : $MgO, SO^3 + 7Aq$.

Formation. On doit à M. Lœvel une étude très-exacte des divers sulfates de magnésie qui prennent naissance dans une dissolution sursaturée de ce sel, se refroidissant à l'abri du contact de l'air. Il a constaté, dans ces circonstances, la formation de deux sels distincts, dont l'un renferme six équivalents d'eau; l'autre en contient sept, mais diffère, par sa forme et par sa solubilité, du sulfate ordinaire. Toutefois, M. Lœvel n'a pas déterminé exactement sa forme cristalline; il appelle ses cristaux tantôt des rhomboèdres, tantôt des tables rhomboïdales ou des losanges.

En me plaçant dans les conditions indiquées par ce savant, j'ai réussi à obtenir ces deux sels, de manière à en pouvoir déterminer exactement les formes.

Sulfate à 6 Aq. Le sel a six équivalents d'eau est en beaux cristaux prismatiques obliques. Ils ne diffèrent que par leur plus grand volume des cristaux de même composition que l'on obtient par l'évaporation à l'air libre à une température de 50 à 60 degrés, et dont j'ai décrit la forme dans un mémoire précédent.

Sel à 7 Aq. Le sel à sept équivalents d'eau se présente en tables hexagonales, ou plutôt d'apparence triangulaire, trois côtés alternatifs étant très-grands, et les trois autres fort petits. Ce sont des rhomboèdres basés, la base P

étant très-développée. Sur les bords de ces tables, on trouve le rhomboèdre principal R, et un rhomboèdre inverse, probablement S^2, mais peu net et un peu incertain (*fig.* 10).

Ces cristaux deviennent ternes et opaques dès qu'on les extrait de l'eau-mère, qui se prend en masse dès qu'elle a le contact de l'air libre. On ne peut en mesurer les angles qu'approximativement.

	Calculé.	Observé.
P : R =	118° 20′	118° 20′ environ.
P : S^2 =	74 55	73 à 76
R — R =	80 40	80 à 81

1^g,820 ont perdu par calcination 0,955 d'eau, ou 52,46 p. 100. La formule correspond à 51,22. Les analyses de M. Lœvel ont, du reste, bien établi la composition de ce sel. Analyse.

SULFATE ZINCO-AMMONIQUE : AzH^4O, ZnO, $2SO^3 + 6Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Ce sel appartient à un groupe de sulfates doubles isomorphes très-étendu, et parfaitement déterminé. Les angles qui le caractérisent ont été indiqués par M. de Kobell, mais ils ne paraissent pas avoir été déterminés avec une grande exactitude. J'ai plusieurs fois obtenu des cristaux de ce sel très-nets que j'ai mesurés, et dont les angles, fort bien d'accord entre eux, et assez voisins de ceux qu'a trouvés M. Rammelsberg pour le sulfate zinco-potassique, diffèrent notablement de ceux de M. Kobell. Cela m'engage à en donner la description.

Outre le prisme primitif M, on trouve deux autres prismes, N($a : \frac{1}{2}b : \infty c$) et R($a : \frac{1}{3}b : \infty c$); la base P et les faces du prisme rectangulaire A E, l'octaèdre m μ, les biseaux e et e^2, et la face α^2 sur l'angle inférieur (*fig.* 11).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	109° 42′	*109° 42′	$e \wedge e$ =	128° 52′	129° 0′
E : R =	154 40	155 0	P : e =	154 26	154 30
E : N =	144 37	144 40	P : e^2 =	136 16	136 35
E : M =	125 9	125 9	α^2 : e =	67 32	67 36
P : m =	145 58	146 0	α^2 : M =	127 33	127 20
P : M =	103 37	*103 37	α^2 : e^2 =	72 10	71 55
P : μ =	45 7	44 58	α^3 : μ =	35 18	35 30
P : A =	106 44	106 48	A : m =	132 6	132 5
P : α^2 =	64 56	* 64 56	A : e =	105 3	105 5
m — m =	141 16	141 30	A : μ =	69 54	70 9
μ — μ =	130 22	130 0	M : e =	117 27	117 26
			M : e_1 =	92 4	92 9

La composition de ce sel est trop bien établie pour que j'aie cru devoir en constater l'exactitude.

Sulfate stannoso-potassique et Protochlorure d'étain :
SnCl + 4(SnO, KO, 2SO³).

Forme primitive. Prisme hexagonal.

Petits cristaux assez éclatants, formés d'un prisme hexagonal régulier, terminé par une pyramide à six pans (*fig.* 12).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	120° 0′	*120° 0′	m — m =	141° 50′	142° 0′
$m \wedge m$ =	98 20	* 98 20	M : m =	109 5	109 0
M : m =	130 50	130 50			

Formation. Ce sel se forme aisément par le mélange de dissolutions chaudes et un peu concentrées de protochlorure d'étain et de sulfate de potasse. Je l'avais pris d'abord pour un sulfate double, mais l'analyse m'a prouvé qu'il renferme du chlore en proportion définie, qui ne varie point lorsqu'on le soumet à une nouvelle cristallisation. Il est d'ailleurs impossible de l'obtenir par le mélange de dissolutions de sulfate de potasse et de sulfate d'étain.

Analyse. 2ᵍ,220 ont été traités par l'acide sulfhydrique; le sulfure d'étain, converti en oxyde, a laissé 0,982 d'acide stannique, contenant 0,7697 d'étain = 34,67 p. 100. On a laissé l'acide sulfhydrique se dissiper au contact de l'air, puis on a dosé successivement le

chlore et l'acide sulfurique. On a obtenu 0,406 de chlorure d'argent, contenant 0,1003 de chlore, ou 4,32 p. 100, et 2,359 de sulfate de baryte, ou 0,8095 d'acide sulfurique, soit 36,46 p. 100.

2 gr., traités de la même manière, ont donné :

0,887 d'acide stannique = 0,6952 d'étain, ou 34,76 p. 100.

0,327 de chlorure d'argent = 0,0808 de chlore, ou 4,04 p. 100.

2,138 de sulfate de baryte = 0,7337 d'acide sulfurique, ou 36,68 p. 100.

1g,328 ont laissé par calcination un résidu pesant 1,068 (le chlorure d'étain s'était volatilisé). Ce résidu s'est réduit par lavage à 0,538. Il y avait donc 0,530 de sulfate de potasse, contenant 0,2867 de potasse, soit 21,58 p. 100.

1g,080, calcinés avec de l'acide sulfurique, ont laissé un résidu pesant 0,895, que les lavages ont décomposé en :

0,477 d'acide stannique, contenant 0,3739 d'étain, ou 34,62 p. 100.

0,418 de sulfate de potasse, contenant 0,2261 de potasse, ou 20,93 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.		
8 SO^3	4000	36,96	36,46	36,68	
Cl	443,2	4,09	4,32	4,04	
4 KO	2356	21.77	21,58	20,93	
5 Sn	3625	33,49	34,67	34,76	34,62
4 O	400	3,69			
	10824,2	100,00			

La proportion d'étain, un peu supérieure à celle qu'indique la formule, peut s'expliquer par la présence d'un peu d'acide stannique mélangé dans le sel : en effet, toutes les dissolutions de sels de protoxyde d'étain exposées à l'air se troublent, et du bioxyde se précipite en même temps que le sel dissous cristallise.

A la suite de ce composé, je rapporterai quelques essais infructueux que j'ai tentés pour obtenir à l'état cristallisé quelques sels de protoxyde d'étain.

Sulfate stanneux. Le sulfate stanneux ne cristallise point par le refroidissement de sa dissolution saturée et bouillante. Il paraît, en effet, plutôt un peu plus soluble à froid qu'à chaud. J'ai trouvé qu'une partie de ce sel exige, pour se dissoudre, 5 1/3 parties d'eau à 19°, et 5 1/2 à l'ébullition. Par l'évaporation dans le vide, il se dépose en cristaux grenus, microscopiques, non déterminables; c'est le sulfate anhydre SnO, SO^3.

Sulfate stannoso-potassique. En évaporant une dissolution mélangée de sulfate stanneux et de sulfate de potasse, on obtient un sel double en aiguilles fines, légères, également indéterminables. Je ne sais s'il existe deux sels doubles distincts, bien que d'un aspect semblable, car l'analyse m'a donné des résultats conduisant une fois à la formule $KO, SO^3 + 2(SnO, SO^3)$, et une autre fois $KO, SO^3 + SnO, SO^3$.

CARBONATE DE POTASSE : $2(KO, CO^2) + 3 Aq$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

Ce sel a été décrit récemment par M. Rammelsberg, et mes mesures ne s'éloignent pas assez des siennes pour qu'il me paraisse utile de les publier. Mais je ne puis m'accorder avec lui pour sa composition.

Composition. Je ne sais si ce savant a vérifié la formule qu'il lui attribue, $KO, CO^2 + 2 Aq$, ou s'il l'a simplement admise d'après les anciennes analyses de divers chimistes. Pour moi, tous mes essais m'ont fait trouver moins d'eau que n'en exige cette formule. J'ai obtenu en effet, pour la perte de poids par calcination, poussée toujours jusqu'à la fusion : 18,17, 18,66, 17,24, et 17,44 p. 100.

Or la formule admise par M. Rammelsberg exigerait

20,6 p. 100 d'eau ; celle que je propose, au contraire, en demande 16,34 p. 100.

Comme il est impossible d'éviter la présence d'une petite quantité d'eau adhérant superficiellement à ces cristaux, bien que je les aie étudiés par un temps froid et sec, pendant lequel ils ne m'ont offert aucune déliquescence, il me semble que l'ancienne formule doit être rejetée. D'ailleurs, comme l'acide carbonique est un acide bibasique, la proportion d'eau que j'admets dans ce sel n'a rien d'irrégulier. Je pense devoir attribuer au temps exceptionnellement sec pendant lequel j'ai examiné ces cristaux, le fait que j'y aie trouvé moins d'eau que n'en indiquent les anciennes analyses.

CARBONATE DE SOUDE : $NaO, CO^2 + Aq$.

Brisme rhomboïdal droit. Forme primitive.

J'ai observé sur divers cristaux de ce sel les formes suivantes :

Le prisme rhomboïdal M, les faces du prisme rectangulaire A, E, et la base P ;

Les faces *n* d'un octaèdre ($a : \frac{1}{2}b : c$) ; enfin sur les angles de la base a, a^2 et e^4.

Voici dans quelles circonstances j'ai obtenu diverses combinaisons de ces formes : Combinaisons diverses.

Fig. 13. P, M, A, a^2. Lames minces parallèles à la base. Cristaux formés par concentration dans le vide d'une dissolution renfermant les carbonates de potasse et de soude à peu près à équivalents égaux. L'eau-mère était sursaturée de carbonate de soude, et s'est prise en masse peu après qu'on en a eu retiré les cristaux. Outre les faces indiquées, ils portent une série de faces courbes indéterminables entre M et a^2.

Fig. 14. P, M, A, a, n. Cristaux aplatis parallèlement à A, formés, par l'évaporation à une température voi-

sine de 80 degrés, d'une dissolution de carbonate de soude pur. Toutefois la plus grande partie des cristaux qui se forment alors ne portent que les faces P, M, A.

Fig. 15. P, M, A, E, e^4. Cristaux allongés suivant l'axe *a*, formés par l'évaporation à chaud d'une dissolution de carbonate de potasse mélangée de chlorure de sodium.

Tous ces cristaux sont, du reste, très-nets, et conservent assez longtemps leur éclat. Leur mesure n'offre aucune difficulté.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	100° 50′	»	P : M =	90° 0′	90° 0′
M ⌣ M =	79 10	*79° 10′	P : *n* =	136 57	136 22
A : M =	140 25	140 30	*n* — *n* =	108 0	»
E : M =	129 35	129 36	A : *n* =	110 49	110 40
A : a^2 =	134 22	134 25	*n* ⌣ *n* =	138 21	»
A : *a* =	116 4	*116 4	M : *n* =	130 26	130 28
A : P =	90 0	90 0			

Analyse. La perte d'eau par calcination, déterminée séparément pour les cristaux des diverses préparations rapportées ci-dessus, a toujours été comprise entre 14 et 18 p. 100. La formule $NaO, CO^2 + Aq$ correspond à 14,48 p. 100 d'eau.

Ce sel a été décrit pour la première fois par M. Haidinger, mais il n'en avait pas déterminé complétement la forme.

Carbonate à 7 Aq. M. Rammelsberg ayant décrit récemment, d'une manière très-exacte, le carbonate de soude à 7 Aq, il est inutile que je rapporte mes observations qui s'accordent bien avec celles de ce savant. Je me bornerai à signaler la beauté des cristaux qui se forment dans des dissolutions contenant du chlorure de sodium ou de l'azotate de soude. Ces cristaux conservent leur transparence et leur éclat infiniment mieux que ceux qui se sont formés dans une dissolution de carbonate pur. Ils présentent un grand nombre de faces. En effet, outre toutes celles

qu'a signalées M. Rammelsberg, on y trouve encore le prisme $a : \frac{1}{2}b : \infty c$, et les octaèdres $a : \frac{1}{3}b : c$, et $a : b : 2c$.

CARBONATE SODICO-POTASSIQUE : $KO, NaO, 2\,CO^2 + 12\,Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Dans ces cristaux les faces dominantes sont la base et les faces du prisme oblique P, M, M. On trouve de plus le prisme rectangulaire A, E, deux autres prismes N($a : 2b : \infty c$) et R($2a : b : \infty c$), les biseaux e et e^2 sur les angles latéraux, les faces α et α^2 sur l'angle inférieur, μ sur les arêtes inférieures, enfin de petites faces ν($a : 2b : -c$) comprises entre α et μ (*fig.* 16).

Aux angles que j'ai observés, je joins ceux obtenus par M. de Sénarmont sur des cristaux du même sel, qui lui avaient été remis par M. Kuhlmann, et dont j'ai eu communication par une lettre de M. Des Cloizeaux.

	Calculé.	Observé.	de Sénarmont.
M — M =	108° 34′	*108° 34′	108° 17′
A : N =	160 13	160 30	
A : M =	144 17	144 17	144 10
A : R =	124 49	124 40	
A : E =	90 0	90 0	
P : M =	122 46	*122 46	122 20
P : μ =	63 25	* 63 25	63 15
P : A =	131 48	131 50	
P : α^2 =	95 41	95 43	95 18
P : α =	55 12	55 25	
E : μ =	128 23	128 25	
E : ν =	111 36	111 29	
E : α =	90 0	90 0	
μ — μ =	103 15	103 11	
ν — ν =	136 48	»	
P : e =	148 45	148 48	148 55
P ; e^2 =	129 29	129 40	
P : E =	90 0	90 0	
μ : A =	100 27	100 23	
A : e =	124 44	124 50	
μ : α^2 =	126 36	126 50	
α^2 : M =	130 59	130 50	
α^2 : e^2 =	93 37		
α : M =	100 50		
α : e =	60 47		
M : e =	139 57	139 40	

Angle plan de la base : 92°4′

Préparation. Ces cristaux sont très-nets, assez volumineux, et ne s'altèrent pas à l'air. On les obtient facilement par la concentration d'une dissolution de carbonates de potasse et de soude mélangés à peu près à équivalents égaux. Si l'on concentre la dissolution par la chaleur, et qu'on la porte ensuite dans le vide, il ne se forme pas de cristaux de ce sel double, mais on obtient le carbonate de soude $NaO, CO^2 + Aq$.

J'ai vainement essayé, en faisant varier les proportions des deux carbonates, d'obtenir le sel indiqué par M. Marguerite, qui lui attribue la formule $2(NaO, CO^2) + KO, CO^2 + 18Aq$. Je suis donc disposé à croire que cette formule repose sur une erreur d'analyse.

Analyse. La proportion d'eau, déterminée par la calcination du sel, a été trouvée dans trois essais, de 47,02, 47,85 et 47,30 p. 100.

1g,033 de carbonate calciné ont exigé, pour leur neutralisation, 0,6722 d'acide sulfurique, d'où il résulte qu'ils contenaient :

0,4131	de potasse	saturant	0,1928	d'acide carbonique.
0,2502	de soude	»	0,1769	
0,3697	d'acide carbonique =		0,3697	
1,0330				

Une portion du sel a été convertie en chlorure, et le chlorure analysé par le dosage du chlore :

Chlorure 0,6165 ; chlorure d'argent 1,335 = chlore 0,3300 = 53,53 p. 100.

Chlorure 1 gr. ; chlorure d'argent 1,6135 = chlore 0,5297 = 52,97.

En moyenne le chlorure double renferme donc 53,25 p. 100 de chlore ; d'où il résulte que l'équivalent moyen des métaux combinés au chlore est de 390. Ce chiffre

étant précisément la moyenne entre les équivalents du potassium et du sodium, on peut en conclure avec certitude que ces deux métaux se trouvent en proportions équivalentes dans le composé :

		Calculé.
NaO	389	13,52
KO	589	20,46
2 CO^2	550	19,11
12 Aq	1350	46,91
	2878	100,00

CARBONATE POTASSICO-MAGNÉSIEN :

$KO, HO, 2CO^2 : 2(MgO, CO^2) + 8Aq.$

Prisme oblique non symétrique. Forme primitive.

Ce sel est en petits cristaux assez nets et inaltérables à l'air. Tous sont mâclés parallèlement au plan E (*fig.* 18) ; mais habituellement l'un des deux cristaux ainsi associés est beaucoup plus développé que l'autre, en sorte que l'on peut en discerner les faces comme si le cristal était simple (*fig.* 17).

Ces cristaux portent les faces prismatiques E, M, A, N, R$(a : \frac{1}{3}b : \infty c)$ et S$(a : -\frac{1}{4}b : \infty c)$, dont R et N sont très-étroites ou manquent souvent.

Au sommet, la base P domine ; on trouve, en outre, les faces $a(a : \infty b : c)$, $\varepsilon^2(\infty a : b : -2c)$, $n(a : -b : \frac{1}{2}c)$, $s(a : -\frac{1}{3}b : c)$ et $\rho(a : \frac{1}{3}b : -\frac{1}{2}c.)$ Souvent les faces P et ρ sont seules distinctes.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
E : R =	153° 0′	152° à 154	E : ρ =	78° 36′	*78° 36′
E : M =	125 45	*125 45′	E : a =	122 58	»
E : A =	95 37	* 95 37	E : s =	57 33	57 23
E : N =	62 23	»	E : n =	119 26	119 40
E : S =	29 31	29 30	A : ρ =	71 58	72 0
E : P =	139 38	*139 38	M : a =	157 50	157 35
E : ε^2 =	60 52	61 20	M : n =	146 40	146 40
P : ε^2 =	101 14	101 30	M : ρ =	69 23	69 30
R : P =	143 11	143 0	ρ : ε^2 =	137 29	137 5
P : ρ =	108 51	109 0	ρ : s =	103 59	104 0
P : M =	131 30	*131 30	ρ : N =	80 24	»

P : a	=	146 55		M : ε^2 =	90 31	91 16
P : A	=	109 57	110 10	A : ε^2 =	108 11	»
P : n	=	151 41	151 50	S : ε^2 =	126 59	126 26
P : N	=	83 21		S : ρ =	91 36	91 30
P : M′	=	76 50	76 44			

Angles plans de la base	P	E : R =	136° 24′ 20″
		E : M =	99 25 10
		E : A =	74 33 20
		E : N =	54 18 20
		E : S =	31 57 40
Angles plans de la face	E	P : a =	141 9 0
		P : A =	114 26 20
Angle plan de la face	M	P : E =	128 4

Ce sel, découvert par Berzélius, se forme au bout de quelques jours dans une dissolution de chlorure de magnésium, à laquelle on ajoute un excès de bicarbonate de potasse.

Analyse. 2 gr., décomposés par l'acide sulfurique dans un appareil taré, ont perdu 0,685 d'acide carbonique, ou 34,25 p. 100.

2 gr. ont perdu à 100 degrés 0,631 d'eau = 31,55 p. 100. Le résidu fortement calciné pesait 0,851 ; par lavage, il s'est réduit à 0,320 = 16 p. 100 de magnésie ; il y avait donc 0,531 de carbonate de potasse, contenant 0,362 de potasse, ou 18,10 p. 100.

Ces résultats sont parfaitement conformes à l'analyse ancienne de Berzélius.

		Calculé.	Trouvé.
KO	589	18,36	18,10
2 MgO	506	15,77	16.00
4 CO^2	1100	34.30	34.25
9 HO	1012,5	31,57	31,55
	3207,5	100,00	99,90

Bromate de potasse : KO, BrO^5.

Forme primitive. Rhomboèdre.

Ce sel a été généralement décrit comme cristallisant dans le système régulier. Mais déjà M. Rammelsberg, sans avoir pu déterminer complétement sa forme, a

reconnu qu'elle n'était point cubique. Il n'a pu mesurer que deux angles appartenant à une même zone; ils étaient de 85°30′ et de 132°55′.

Un examen minutieux de ses cristaux, toujours très-petits et confus, m'a prouvé qu'ils dérivent d'un rhomboèdre. J'ai observé les formes suivantes :

Fig. 19. Rhomboèdre primitif. Petits cristaux assez nets, formés dans une dissolution contenant de l'acide azotique. Combinaisons diverses.

Fig. 20. Très-petits cristaux, confusément groupés, formés dans une dissolution de bromate pur. Les seuls qui soient distincts ont la forme de rhomboèdres évidés intérieurement parallèlement aux faces du prisme hexagonal. L'un des sommets est assez net, l'autre est formé de faces en gradins parallèles à celles du sommet supérieur.

Fig. 21. Cristaux obtenus dans une dissolution contenant du bromure de potassium, mais sans que ce dernier sel entre dans leur composition. Ils offrent un caractère d'hémiédrie prononcé : l'un des sommets est formé par le rhomboèdre R, l'autre par la base P et un rhomboèdre inverse $S^{1/2}$. Cependant l'une des faces de R existe des deux côtés, et les cristaux sont aplatis suivant cette paire de faces.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
R — R =	86°18′	*86°18′	P : $S^{1/2}$ =	141°59′	141°46′
$S^{1/2}$ — $S^{1/2}$ =	115 32	115 22	P : R =	57 24	57 14
R : R′ =	93 42	93 40	R : M =	156 51	136 45
R′ : $S^{1/2}$ =	133 9	133 10			

En calcinant ce sel avec la plus grande précaution, j'ai obtenu pour l'oxygène, par la perte de poids, 28,93 p. 100. Le bromate neutre anhydre doit en contenir 28,73. Analyse.



BROMATE DE SOUDE ET BROMURE DE SODIUM : NaBr + 2(NaO, BrO^5) + 4Aq.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Longs cristaux aciculaires très-nets, dont un seul sommet est visible. Le prisme M est tronqué par les faces du prisme rectangulaire AE; les arêtes AM sont souvent remplacées par de très-petites faces N(a : $3b$: ∞c). Les cristaux sont terminés par le biseau e; parfois l'angle postérieur est tronqué par une très-petite face α (*fig.* 22).

Fréquemment les cristaux sont mâclés parallèlement à A; leur sommet est alors formé de quatre faces e, et paraît appartenir à un octaèdre rhomboïdal droit.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	77° 6′	*77° 6′	$e \wedge e$ =	103° 20′	*103° 20′
A : N =	157 18	157 env.	E : e =	128 20	128 20
A : M =	128 33	128 33	M : e =	136 20	*136 20
A : E =	90 0	90 0	M : α =	84 10	84 15
A : (ee) =	119 11		A : e =	112 29	112 24
A : α =	80 44	80 45			

Dans les cristaux mâclés :

$e \smile e'$ = 135° 2′ (observé) 135° 10′
$e \wedge e'$ = 86 27 86 36

Préparation. On obtient facilement ce sel en saturant de brome une dissolution de soude caustique, et portant à l'ébullition pour chasser l'excès de brome. Par le refroidissement, on obtient en général une première cristallisation de bromate de soude en cristaux tétraédriques. L'eau-mère concentrée fournit les cristaux décrits ici, ils sont quelquefois mélangés de cristaux de bromure de sodium quadri-hydraté. Dans tous les cas, celui-ci cristallise plus tard après une nouvelle concentration.

Analyse. Ce sel perd toute son eau à 100 degrés; j'ai trouvé, pour la perte de poids, 9,11 et 9,21 p. 100. Les autres analyses ont toutes été faites sur le sel séché à cette température.

1g,277, précipités par l'azotate d'argent, ont produit un précipité pesant, après dessiccation, 2,033; traité

par l'acide chlorhydrique, il a donné 1,3265 de chlorure d'argent; d'où l'on peut calculer qu'il renfermait :

Argent	0,9986	
Brome	0,7397	= 57,92 o/o
Oxygène	0,2947	= 23,08

Après avoir précipité l'excès d'argent de la liqueur par l'acide chorhydrique, on a évaporé à siccité et calciné avec de l'acide sulfurique; on a obtenu 0,683 de sulfate de soude, contenant 0,2221 de sodium, 17,39 p. 100.

0,900, calcinés avec précaution, ont donné 0,686 de bromure de sodium, ou 76,22 p. 100.

0,845 ont été dissous dans l'eau et additionnés de quelques gouttes d'iodate de potasse et d'une dissolution d'amidon; puis on y a versé une dissolution titrée d'acide sulfureux, jusqu'au moment où une coloration bleue a indiqué que la totalité de l'acide bromique était décomposée et que l'iode commençait à être mis en liberté. Il a fallu pour cela une quantité d'acide sulfureux correspondant à 0,2034 d'oxygène, ou 24,05 p. 100.

1g,0445 ont été réduits par l'acide sulfureux, et précipités par l'azotate d'argent; on a obtenu 1,467 de bromure = 0,6242 de brome, ou 59,76 p. 100.

Il résulte de là que le sel séché à 100 degrés a une composition exprimée par la formule $NaBrO^4$.

		Calculé.	Trouvé.		
Na	289	17,11	17,39	»	76,22
Br	1000	59,21	59,76	57,92	
4O	400	23,68	24,05	23,08	
	1689	100,00			

Les cristaux contiendraient en outre 1 1/2 équivalent d'eau :

		Calculé.	Trouvé.	
2 $NaBrO^4$	3378	90,92		
3 Aq	337,5	9,08	9,11	9,21
	3715,5	100,00		

On pourrait donc considérer ce composé comme un bromite de soude $2(NaO, BrO^3) + 3Aq$. Mais si l'on remarque que toutes ses propriétés sont celles d'un mélange de bromure et de bromate, qu'il suffit même de le redissoudre dans l'eau et d'essayer de le faire recristalliser pour le décomposer et voir se former en premier lieu des cristaux de bromate, on sera plus disposé à le considérer comme composé de bromure de sodium et de bromate de soude : $NaBr + 2NaO, BrO^5$. Quant à la proportion d'eau de cristallisation, l'analyse en indiquerait 4 1/2 équivalents; mais il est infiniment probable qu'il y a un petit excès d'eau provenant d'eau mère interposée.

On peut donc admettre la formule $NaBr + 2(NaO, BrO^5) + 4Aq$, qui exigerait 8,16 p. 100 d'eau.

BROMATE DE BARYTE : $BaO, BrO^5 + Aq$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal oblique.

M. Rammelsberg a déjà signalé l'isomorphisme de ce sel avec le chlorate de baryte; mais, comme il n'a pas décrit complétement ses cristaux, je rapporterai mes observations faites sur des cristaux très-bien conformés.

Les plus complets se composent du prisme rhomboïdal M et du prisme rectangulaire A, E, de la base P et des faces e, a et α sur les angles, et des faces $m^{1/2}$ et $\nu(\frac{1}{2}a : b : -c)$ (*fig.* 23).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	82° 10′	*82° 10′	P : $m^{1/2}$ =	142° 0′	142° 15′
E : M =	138 55	138 50	P : M =	91 59	92 15
P : A =	93 2	93 10	M : a =	119 14	*119 14
A : a =	138 0	138 6	M : $m^{1/2}$ =	86 43	87 0
A : α =	135 9	135 0	M : e =	56 0	56 4
E : e =	140 28	140 30	a : e =	116 46	*116 46
$e \wedge e$ =	79 5	79 0	e : M =	127 7	127 0
E : $m^{1/2}$ =	117 40	117 20	M : ν =	151 4	151 5
$m^{1/2} - m^{1/2}$ =	124 40		M : α =	117 46	118 2
E : ν =	117 53	117 42	e : α' =	115 7	114 50
$\nu - \nu$ =	124 14	124 36			

M. Rammelsberg avait trouvé M — M = 82°20', $e \wedge e$ = 78° 30'.

Les cristaux sont petits, mais très-éclatants ; les faces du prisme sont quelquefois striées.

1 gr. a donné 0,571 de sulfate de baryte, contenant 0,3751 de baryte, ou 37,51 p. 100. La formule exige 37,24. Analyse.

BROMATE DE CHAUX : $CaO, BrO^5 + Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique.

Petits cristaux brillants, aplatis suivant le plan diagonal E, dont on peut admettre l'isomorphisme avec le sel précédent, bien que la différence dans les angles soit assez considérable. Forme primitive

Outre le prisme M, tronqué latéralement par les faces E, on trouve un second prisme N($\frac{1}{2}a : b : \infty c$), les faces a^3 et α, le biseau $e^{1/2}$, l'octaèdre primitif $m\,\mu$, et un second octaèdre $r\,\rho\,(a : \frac{1}{2}b : \pm c)$ (*fig.* 55).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	79° 56'	80° 0'	$(ee):(mm)$ =	141° 35'	»
E : M =	140 2	140 0	(ee):(MM) =	97 54	»
E : N =	120 49	120 50	(ee) : α =	45 29	»
N : N =	118 22	118 20	a^3 : α =	108 20	108° 20'
m : M =	146 13	146 14	N : a^3 =	144 10	144 20
M : μ =	142 48	142 52	N : m =	100 58	101 10
m : m =	106 22	*106 22	a^3 : m =	136 47	136 50
r : r =	67 23	»	M : a^3 =	127 20	127 28
E : r =	146 18	146 10	M : α =	113 4	113 0
E : m =	126 49	126 45	α : N =	121 35	121 30
μ : μ =	98 41	* 98 41	α : m =	85 7	85 8
ρ : ρ =	60 25	»	α : $e^{1/2}$ =	51 51	51 46
E : ρ =	149 48	149 53	$e^{1/2} \wedge e^{1/2}$ =	123 33	123 37
E : μ =	130 39	130 40	N : μ =	136 59	137 15
E : α =	90 0	90 0	N : $e^{1/2}$ =	97 57	97 45
$m \smile \mu$ =	117 4	*117 4			

Angle plan de la base : 79° 23' 40".

Si l'on compare les angles les plus caractéristiques des bromates de baryte, de strontiane et de chaux, on trouve :

	M — M	P : A	$e \wedge e$
Bromate de baryte,	82° 10′	93° 2′	79° 5′
» de strontiane (Rammelsberg),	81 20	91 0	78 15
» de chaux,	79 56	97 54	85 56

Analyse. 1^g,120 ont donné 0,482 de sulfate de chaux, contenant 0,1985 de chaux, soit 17,72 p. 100. La formule correspond à 17,83.

BROMATE D'ARGENT : AgO, BrO⁵.

Forme primitive. Prisme quarré.

Petits cristaux d'un blanc laiteux, assez éclatants, le plus souvent groupés en chapelets ; isomorphes avec le chlorate d'argent.

Ils offrent la réunion des deux prismes quarrés M et A, les octaèdres $m^{1/2}$ et a ; la base P, et les faces d'un dioctaèdre $n(\frac{1}{2}a : a : t)$ (*fig.* 56). La base P manque souvent.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	90° 0′	90° 0′	M : $m^{1/2}$ =	123° 41′	123° 38
A : M =	135 0	135 0	M : n =	149 0	149 2
P : a =	136 41	136 40	M : a =	119 1	119 1
A : a =	133 19	*133 19	M : $m^{1/2}$ =	90 0	90 0
$m^{1/2}$ — $m^{1/2}$ =	133 49		$\acute{a}$ — a =	121 58	»
n — n =	132 20	132 30	A : n =	143 55	143 50
$n \wedge n$ =	50 45	50 45			

Analyse. 1^g,248, décomposés par l'acide chlorhydrique, ont donné 0,757 de chlorure d'argent, ou 0,5707 d'argent = 45,69 p. 100. Le calcul exige 45,76.

ACIDE IODIQUE : HO, IO⁵.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

J'ai fait remarquer, dans un précédent mémoire, que l'acide iodique avait été décrit par M. Rammelsberg et par M. Schabus sous deux formes entièrement distinctes et incompatibles ; bien qu'elles appartiennent au même système. M. Rammelsberg avait analysé les cristaux

qu'il avait obtenus, et avait reconnu qu'ils appartenaient à l'acide hydraté HO, IO^5.

Ayant obtenu moi-même des cristaux identiques avec ceux de M. Schabus, j'en avais fait l'analyse, et j'avais constaté qu'ils renfermaient le même hydrate, d'où il suit que l'acide iodique est dimorphe. Dimorphisme.

Depuis cette époque, j'ai eu l'occasion de faire de nouveau cristalliser l'acide iodique, et j'ai obtenu cette fois les deux formes distinctes. La plus grande partie des cristaux avaient la forme décrite par M. Schabus; mais quelques-uns, formés dans la même opération, présentaient la forme signalée par M. Rammelsberg. Je ne saurais dire quelle est la circonstance qui détermine ce dimorphisme; il paraît seulement que cette seconde forme s'obtient plus rarement, car c'est la seule fois que je l'aie vu se produire dans un grand nombre de cristallisations faites à des températures assez différentes.

Bien que mes cristaux appartiennent évidemment à la forme décrite par M. Rammelsberg, ils m'ont présenté cependant dans leurs angles une différence assez forte, dépassant les limites ordinaires des erreurs d'observation, ce qui m'engage à en donner la description.

Ce sont des lames hexagonales, aplaties suivant la base P. Elles portent le prisme M et l'octaèdre *m*; les angles latéraux sont tronqués par les biseaux *e* et $e^{1/2}$. Description.

Les faces *m* sont habituellement hémièdres; les faces *e* et $e^{1/2}$ existent bien toutes, mais il y en a une paire de larges et une paire d'étroites (*fig.* 57). On serait disposé, d'après l'apparence des cristaux, à les rapporter à un prisme oblique en les tournant de côté; mais les plus nets m'ont toujours donné l'angle P : M exactement de 90 degrés.

L'éclat est éminemment nacré suivant la base; il y a Clivages.

un clivage facile suivant cette direction. On obtient aussi des clivages assez nets suivant les faces du prisme.

	Calculé.	Observé	Rammelsberg.
M — M =	114° 46′	* 114° 46′	119° 0′
P : $e^{1/2}$ =	149 3	149 2	149 16
P : e =	129 49	129 40	130 2
P : e^2 =	112 38	»	112 environ.
P : m =	114 12	* 114 12	
P : M =	90 0	90 0	
m — m =	121 6	»	
$m \smile m$ =	79 36	79 45	
m : e =	129 48	129 49	
M : e =	114 27	114 40	
M : $e^{1/2}$ =	106 6	106 20	
M : m (1) =	112 28	112 18	

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que l'acide iodique porte dans ses deux formes la même tendance à l'hémiédrie.

Analyse. 0g,920 ont produit 1,472 d'iodate d'argent, contenant 0,8682 d'acide iodique, ou 94,37 p. 100.

1 gr. a donné 1,620 d'iodate, ou 9,0555 d'acide.

		Calculé.	Trouvé.	
IO^5	2085	94,88	94,37	95,55
HO	112,5	5,12		
	2197,5	100,00		

Ces analyses confirment parfaitement celle de M. Rammelsberg, et s'accordent également avec celles de l'acide cristallisé sous l'autre forme.

IODATE DE SOUDE ET IODURE DE SODIUM :



$2(NaO, IO^5)$; $5NaI + 40Aq$.

Forme primitive. Rhomboèdre.

Ce composé se présente sous des formes un peu variées.

Quelquefois ce sont des lames hexagonales régulières, prismes raccourcis P, M, portant de légères indications du second prisme hexagonal N.

(1) M de droite sur m de gauche.

Souvent l'aspect est encore celui de lames hexagonales, mais dont les faces latérales sont formées par un grand nombre de facettes étroites et peu nettes, dont il n'est pas toujours facile de déterminer les signes. Bien que quelques-unes semblent se retrouver sur toutes les arêtes, cependant, en général, le type est plutôt rhomboédrique que hexagonal.

Combinaisons diverses.

J'ai surtout rencontré les combinaisons P, R, $S^{1/2}$, M (*fig.* 58) (2), P, R, R^4, $S^{4/5}$ (*fig.* 59), P, $R^{8/5}$, $S^{4/5}$ (*fig.* 60) et P, $R^{8/5}$ (*fig.* 61); cette dernière combinaison formant des cristaux d'apparence octaédrique.

Analyse.

Les rhomboèdres $R^{4/5}$ et $R^{6/5}$ sont très-fréquents et paraissent se retrouver dans les deux séries; tandis que R et R^4 n'existent que dans les rhomboèdres directs, $S^{1/2}$ et S^2 dans les rhomboèdres inverses.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
P : $R^{3/5}$	= 128° 0′	128° 0′	M : N	= 150° 0′	150° 0′
P : $R^{4/5}$	= 120 22	120	M — M	= 120 0	120 0
P : R	= 115 7	114 50	R : $S^{1/2}$	= 128 22	128 9
P : $R^{6/5}$	= 111 20	111 30	R — R	= 76 43	76 20
P : $R^{8/5}$	= 106 20	106 24	$R^{8/5}$: $S^{4/5}$	= 123 47	123 40
P : R^4	= 96 41	96 38	$R^{8/5}$ — $R^{8/5}$	= 67 35	* 67 35
P : M	= 90 0	90 0	R : $S^{4/5}$	= 127 15	127 10
P : S^2	= 76 48	77	R : R^4	= 66 25	66 30
P : $S^{6/5}$	= 68 39	68 30			
P : $S^{4/5}$	= 59 37	59 30			
P : $S^{1/2}$	= 46 50	47 20			

Les résultats de mes premières analyses ne conduisant à aucune formule simple, je les ai plusieurs fois répétées sur des produits de différentes cristallisations; en sorte qu'il serait trop long d'en rapporter tous les détails. J'indiquerai seulement la marche suivie dans ces analyses et leurs résultats.

---

(1) Pour éviter la confusion qui peut résulter de l'emploi de lettres accentuées, je désigne par S les rhomboèdres inverses.

L'eau est complétement chassée par la dessiccation à 100 degrés.

La soude a été déterminée par calcination avec de l'acide sulfurique.

L'iode a été déterminé le plus souvent en réduisant par l'acide sulfureux et précipitant par l'azotate d'argent, à l'état d'iodure d'argent. L'oxygène était dosé dans la même opération par la quantité d'acide sulfureux titré nécessaire pour opérer la réduction de l'iodate, quelques gouttes d'une dissolution d'amidon ayant été versées d'avance dans la liqueur.

Une autre fois, j'ai précipité directement la dissolution saline par l'azotate d'argent; le précipité, mélange d'iodure et d'iodate, a été desséché, posé, puis converti en chlorure; ce qui permet de calculer à la fois la proportion de l'iode et celle de l'oxygène.

Voici les résultats comparés avec la formule :

		Calculé.	Trouvé.						
5Na	1445	9,59	9,28	9,46	9,30	9,59	9,37	9,51	9,53
5I	7925	52,59	52,38	52,27	53,34	53,09			
12O	1200	7,96	8,27	7,93	8,01	8,01			
40Aq	4500	29,86	28,40	29,60	30,00	28,02			
	15070	100,00							

Ce composé a été décrit pour la première fois par M. Mitscherlich, qui lui avait attribué une formule plus simple : $NaO,IO^5 + NaI + 20Aq$.

Il a été plus tard de nouveau étudié et analysé par M. Penny, qui l'a représenté par la formule $2(NaO, IO^5) + 3NaI + 38Aq$. Celle que je propose n'en diffère que parce qu'elle renferme deux équivalents de plus, afin d'établir un rapport simple entre le nombre d'équivalents d'eau et celui des équivalents salins; mais je doute que l'analyse puisse se faire assez exactement pour décider entre ces deux formules.

IODATE DE CHAUX : $CaO, IO^5 + 6Aq$.

Prisme rhomboïdal droit. Forme primitive.

On obtient facilement ce sel en beaux cristaux, très-éclatants, de deux à trois lignes de longueur, dans une dissolution contenant de l'acide azotique.

Je ne rapporterai pas mes observations sur ces cristaux, car ils viennent d'être décrits très-exactement dans le dernier ouvrage de M. Rammelsberg, d'après les mesures prises par M. de Sénarmont. Mais comme l'analyse de ces cristaux n'a pas été faite, et que M. Rammelsberg a trouvé cinq équivalents d'eau seulement dans un précipité cristallin, je communiquerai les analyses qui m'en font admettre six dans ces cristaux.

$1^g,7935$ ont perdu vers 200 degrés 0,395 d'eau = 22,02 p. 100, et donné 0,488 de sulfate de chaux, contenant 0,201 de chaux, ou 11,21 p. 100. Analyse.

$1^g,410$ ont perdu 0,305 d'eau = 21,63 p. 100, et produit 0,388 de sulfate, soit 0,1598 de chaux = 11,33 p. 100.

		Calculé.	Trouvé.	
CaO	350	11,25	11,21	11,33
IO^5	2085	67,05	»	»
6Aq	675	21,70	22,02	21,63
	3110	100,00		

IODATE DE MAGNÉSIE : $MgO, IO^5 + 4Aq$.

Prisme rhomboïdal oblique. Forme primitive.

Ce sel se dépose, par l'évaporation spontanée de sa dissolution, en beaux cristaux, très-éclatants (*fig.* 62). Le prisme M est tronqué sur ses arêtes antérieures et postérieures par les faces A, et terminé par la base P, et par une face $a^{1/2}$ sur l'angle antérieur. On trouve de plus l'octaèdre primitif *m*, *μ*.

Les faces *m* et $a^{1/2}$ sont en général très-petites, ou manquent complétement.

Il y a un clivage très-net parallèle à A. Clivage.

Malgré l'éclat de ces cristaux, il m'a été impossible de les mesurer exactement. Les faces P et $a^{1/2}$ sont seules parfaitement planes et nettes. On peut encore mesurer exactement l'angle P : A, les faces A ne portant que des stries verticales. Toutes les autres faces donnent plusieurs images.

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
M — M =	78° 20′	78° à 79°	P : m =	126° 42′	126 à 127°
A : M =	129 10	127 à 132	P : M =	96 43	96 à 98
P : $a^{1/2}$ =	155 32	155 32′	P : μ =	62 58	62 à 64
P : A =	100 40	100 40	m : A =	127 5	$126^{1/2}$ à $127^{1/2}$
m — m =	102 30	102 à 104	A : μ =	117 35	117 à 118
μ : μ =	91 53	91 à 92			

Analyse. 1 gr. a perdu vers 150 degrés 0,1615 d'eau, et donné 0,272 de sulfate de magnésie, soit 0,0914 de magnésie.

		Calculé.	Trouvé.
MgO	253	9,08	9,24
IO^5	2085	74,78	»
4 Aq	450	16,14	16,15
	2788	100,00	

BENZOATE D'AMMONIAQUE : $AzH^4O, C^{14}H^5O^3$.

Forme primitive. Prisme rhomboïdal droit.

Lames excessivement minces parallèles à la base, d'un éclat nacré. Ordinairement ce ne sont que des lames rhomboïdales, presque rectangulaires, dont les bords sont formés par les faces m d'un octaèdre. Rarement les angles sont tronqués par les faces a et E (*fig.* 63).

	Calculé.	Observé.		Calculé.	Observé.
m — m =	96° 12′	* 96° 12′	$m \smile m$ =	94 48′	94° 50′
m : a =	138 6	148 0	P : a =	114 34	114 30
P : m =	108 2	* 108 2	$a \wedge a$ =	49 9	»
$m \wedge m$ =	36 4	36 4	M — M =	90 46	

Analyse. 2 gr., traités par le bichlorure de platine et l'alcool mêlé d'éther, ont donné 3,120 de chloroplatinate d'ammoniaque, correspondant à 0,3631 d'ammoniaque (AzH^4O), soit 18,15 p. 100.

1 gr., traité par l'acide chlorhydrique, et chauffé au

bain-marie, dans une capsule très-ouverte, jusqu'à ce que le poids fût devenu constant, a laissé 0.376 de sel ammoniac, correspondant à 0,1829 d'ammoniaque.

		Calculé.	Trouvé.	
$C^{14}H^5O^3$	1412,5	81,30		
AzH^4O	325	18,70	18,15	18,29
	1737,5	100,00		

Le benzoate de potasse a une composition analogue, et me paraît isomorphe avec le sel d'ammoniaque; toutefois je ne l'ai obtenu qu'en lamelles indéterminables. **Benzoate de potasse.**

TABLE DES SUBSTANCES DÉCRITES DANS CE MÉMOIRE.

RAPPORT

DE LA COMMISSION CHARGÉE, PAR UNE DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 5 JUIN 1857, D'EXAMINER UN APPAREIL INVENTÉ PAR M. DUMÉRY, INGÉNIEUR CIVIL, POUR OPÉRER, SANS PRODUCTION DE FUMÉE, LA COMBUSTION DE LA HOUILLE DANS LES MACHINES LOCOMOTIVES (1).

L'essor considérable pris tant par l'industrie métallurgique que par l'industrie des chemins de fer, laquelle absorbe une si grande quantité de combustible (2), a fait naître, durant ces dernières années, un besoin excessif de coke qui s'est bientôt traduit par une élévation constante de prix et une diminution incessante de qualité. La production ne pouvait se mettre immédiatement au niveau de la consommation, à raison de la lenteur forcée du développement des mines, dont les chantiers ne peuvent s'accroître que dans une certaine limite et où le creusement de puits nouveaux exige nécessairement un temps plus ou moins long. En un mot, l'approvisionnement du coke était promptement devenu une difficulté réelle pour les hauts

(1) Cette commission était composée de MM. Thoyot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du contrôle des chemins de fer de l'Est; Couche, ingénieur en chef des mines, professeur du cours de construction et de chemins de fer à l'École impériale des mines; Lamé Fleury, ingénieur des mines, attaché au contrôle des chemins de fer de l'Est, *rapporteur*.

(2) La compagnie des chemins de fer de l'Est, dont le réseau comprend aujourd'hui 1.376 kilomètres, brûle quotidiennement 176 tonnes de coke et 172 tonnes de houille pour le chauffage de ses locomotives.

fourneaux et pour les chemins de fer. A la fin de 1854, les compagnies de chemins de fer, notamment celles du Nord, de l'Est, d'Orléans et du Midi, voyant qu'elles ne pouvaient suffire à leur consommation, même en achetant du coke de toute qualité et à tout prix, se sont sérieusement préoccupées de rechercher les moyens de substituer, en totalité ou en partie, la houille au coke dans le chauffage des locomotives. La question ne se présentait donc pas seulement pour ces compagnies au point de vue de l'économie; il s'agissait pour elles d'assurer la marche régulière du service important qui leur est concédé. Des essais du même genre se faisaient d'ailleurs dans le Palatinat, en Angleterre, en Prusse; le ministre des travaux publics de ce dernier royaume a même suivi avec un intérêt particulier les résultats obtenus par la compagnie de l'Est, tributaire, comme on sait, du bassin houiller de Saarbrück.

La tentative de la compagnie de l'Est a commencé en avril 1854. Faite d'abord sur une petite échelle, elle a été successivement étendue, et, à partir du 1er juillet de la même année, toutes les machines à marchandises du réseau ont dû consommer exclusivement de la houille. La compagnie n'a, du reste, rien négligé pour arriver à la connaissance exacte de la vérité sur ce problème intéressant, et elle a fait immédiatement des efforts multipliés pour obtenir une combustion complète de la houille : la fumée constitue, en effet, l'objection unique que semble présenter l'emploi de la houille *en nature* dans les machines locomotives, eu égard à l'article du cahier des charges d'une concession de chemins de fer qui porte que « les machines locomotives devront consumer leur fumée. »

M. l'ingénieur en chef des mines Sauvage, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de

fer de l'Est, s'était notamment mis en relation avec un ingénieur civil, M. Duméry, qui, à la suite de l'ordonnance de police du 11 novembre 1854, prescrivant aux propriétaires d'usines à vapeur de se mettre en mesure de brûler leur fumée, avait inventé un ingénieux dispositif pour la combustion sans fumée de tous les combustibles dans les foyers de générateurs fixes (1), et revenir l'appliquer avec le même succès aux machines locomotives. Les ingénieurs du contrôle des chemins de fer de l'Est suivaient avec soin cette intéressante expérience, et tenaient l'administration supérieure au courant des résultats. Après de longs et inévitables tâtonnements, sur lesquels il serait aujourd'hui sans intérêt de s'arrêter, ces résultats ont paru dernièrement assez satisfaisants pour que la compagnie ait autorisé M. Duméry à faire l'application de son système à la machine à voyageurs n° 75, *la Ville de Lizy*, affectée à un service régulier entre Paris et Meaux. M. Duméry a sollicité de l'administration une constatation officielle des résultats de son essai ; la commission chargée, le 5 juin dernier, de cet examen, auquel ses membres ont procédé isolément ou réunis, et en se concertant avec l'inventeur, vient maintenant en rendre compte.

Comme le remarque M. Duméry, il ne se propose en aucune manière de brûler la fumée une fois qu'elle est formée ; ses efforts tendent à ne point en permettre la formation. A cet effet, reprenant l'idée, émise déjà théoriquement, mais non encore suivie d'une réalisation pratique, de l'introduction du combustible frais au-dessous

(1) Cet appareil a été l'objet de deux notes publiées dans les tomes VIII, p. 101, et X, p. 353, de la 5ᵉ série des *Annales des mines*, où il est décrit et comparé avec un foyer ordinaire. On sait que l'Académie des sciences l'a jugé digne, en 1856, du prix Montyon.

du combustible en ignition, M. Duméry se propose de distribuer la houille d'une manière à peu près continue, par petites portions et à des intervalles de temps courts et réguliers, de telle sorte que la charge soit amenée dans le foyer à la partie inférieure de la houille déjà embrasée, à l'inverse de ce qui a lieu dans le mode actuel de chargement, où la houille fraîche est jetée par la porte du foyer à la partie supérieure.

Réduit à sa plus simple expression, l'appareil de M. Duméry doit être considéré comme consistant dans deux cornets courbes et rectangulaires ABC, A'B'C' (*fig.* 1, 2, Pl. III), symétriquement situés, débouchant dans le foyer, —vers lequel est nécessairement tournée leur concavité, —par deux orifices C, C' qui en occupent toute la longueur, et se prolongeant à l'extérieur, sur la plate-forme même de la machine, par deux conduits AB, A'B' qui servent de trémies pour le chargement de la houille. La grille ordinaire, plane et horizontale, a disparu pour faire place à une grille *mnm'n'* en forme de selle, qui relie les deux faces extérieures des cornets et complète ainsi la base sur laquelle doit reposer le combustible en ignition. Chaque cornet est d'ailleurs à sections croissantes du haut vers le bas, de telle sorte que la houille jetée par l'orifice (A, A') chemine naturellement et sans encombre, par l'effet de la pesanteur, dans le conduit (AB, A'B') qui l'amène à la partie inférieure (B, B'). On pressent qu'un moyen artificiel doit alors être employé pour pousser cette houille fraîche sous la houille en combustion qu'elle doit remplacer, au fur et à mesure de sa disparition; c'est ce qui a lieu en effet.

Ce premier aperçu général donné, la commission entrera dans les détails essentiels du dispositif soumis à son examen.

La grille centrale se compose de la réunion de douze

barreaux longitudinaux *aa'*,..., *bb'*,..., c'est-à-dire dirigés horizontalement suivant l'axe de la machine; les huit barreaux *aa'*,... du milieu ont un mouvement continuel d'oscillation, sur la production duquel la commission reviendra plus loin, mais dont le rôle doit être immédiatement indiqué. Sous l'influence de cette oscillation, le foyer est débarrassé des cendres, qui ainsi ne s'emmagasinent jamais, et même des scories qui, dans leur état naissant de fluidité, tombent également avec facilité. Les quatre autres barreaux *bb'*,..., sont des barreaux ordinaires et servent, lorsqu'on veut cesser le feu, à jeter le combustible incandescent, qui, en cas normal, est éteint et mis de côté pour l'allumage suivant.

Théoriquement (*fig.* 1, 2), il ne devrait y avoir qu'un cornet de chaque côté du foyer, et le plan mené, suivant l'axe de ce foyer, perpendiculairement à la direction des rails, partagerait en deux parties symétriques chacun de ces cornets uniques; mais le défaut de place sur la machine mise à la disposition de M. Duméry a obligé cet ingénieur à remplacer, dans la partie supérieure, le cornet unique par une couple de cornets : l'un AB (*fig.* 3, 4, 5), desservant environ les deux tiers du foyer, placé en arrière de la dernière paire de roues de la machine, dont il est rapproché autant que possible; l'autre A_1B_1 desservant l'autre tiers du foyer, et placé entre la roue correspondante et la paroi extérieure de ce foyer. Ces deux parties supérieures du double cornet sont en tôle pleine.

La partie inférieure (B,B_1) C de ce cornet, dont la bifurcation AB, A_1B_1 dans la partie supérieure est actuellement comprise, celle en d'autres termes qui est la plus rapprochée des rails, est un assemblage de barreaux transversaux *def*,..., supportés par deux traverses

longitudinales *lo*, *mn*, dont l'intérieure *mn* fait fonction de barreau fixe, et pliés suivant un angle très-obtus qui a son sommet *e* compris entre le plan *lomn* et la face supérieure des rails. Immédiatement au-dessous de cet ensemble de barreaux transversaux est le système propulseur de la houille, dont l'existence a été annoncée.

Il se compose d'un arbre longitudinal GH, parallèle à la ligne qui réunit tous les sommets *e*, portant une série de cammes *rs*, *st*;... et recevant à volonté un mouvement de rotation par l'essieu d'avant du tender, comme il sera expliqué tout à l'heure. Les cammes *rs*, *st*;..., égales et également espacées, dont les pointes *r*, *t* sont situées sur le prolongement d'un diamètre de l'arbre GH, peuvent se mouvoir librement dans les vides que forment les barreaux transversaux *def*,..; leurs profils, naturellement opposés, offrent d'un côté une partie sensiblement rectiligne, qui n'a aucune fonction, et de l'autre une partie courbe, découpée de telle sorte qu'elle ne puisse jamais faire cisaille sur le charbon qui serait compris entre elle et les barreaux *def*,... Cette partie courbe a pour fonction de refouler vers l'orifice intérieur C le charbon jeté par l'orifice extérieur (A, A_1).

On doit voir maintenant les deux parties, l'une $\alpha\beta$, $\alpha_1\beta_1$, double et pleine, l'autre $\beta\gamma$, simple et à claire-voie, dont se compose la face extérieure d'un double cornet, prolongée, ainsi que cela a été dit, par une moitié de la grille centrale. La face intérieure de chaque cornet est semblablement composée de deux parties, l'une $\delta\varepsilon$, $\delta_1\varepsilon_1$, double et pleine, et l'autre $\varepsilon\eta$, simple et à claire-voie. Cette sorte de grille courbe $\varepsilon\eta$ est destinée à protéger la partie inférieure de la paroi longitudinale du foyer contre l'action du feu, par une circulation perpétuelle d'air. La portion $\beta\gamma\varepsilon\eta$ du cornet est, d'ailleurs,

terminée à ses deux extrémités par deux plateaux en fonte pleins.

La conduite du feu se devine alors aisément. Après avoir rempli la partie (AB, A_1B_1) C du cornet et la grille avec du charbon frais, sur lequel on met une couche des résidus d'une combustion précédente, on procède à l'allumage par le mode ordinaire; cette opération dure une quarantaine de minutes seulement (1), fait qui peut être de quelque importance pour l'organisation économique du service de réserve dans les dépôts. La houille fraîche, sous l'influence de la chaleur, distille ses carbures d'hydrogène, qui, au moment où ils se forment, se trouvent, par une température convenable, en contact avec l'air pur qui arrive par-dessous, s'enflamment à leur passage au travers de la couche incandescente et se brûlent complétement sans production de fumée.

Dans son état normal, le foyer contient 250 kilogrammes de houille, la couche s'élevant à $0^m.15$ en moyenne au-dessus de la partie supérieure de la selle.

(1) Détails d'un allumage fait en présence de la commission, dans la matinée du mardi 11 août 1857 :

11^h Le manomètre marque 0^{atm} au moment de l'allumage; production très-faible de fumée.
11^h 15' Le manomètre marque 1^{atm}.
11^h 20' Une charge, l'injecteur est fermé. (Voir plus loin ce qu'est cet injecteur.)
11^h 25' Le manomètre marque $1^{atm}.5$; le foyer est bien allumé, l'injecteur est un peu ouvert; fumée légère.
11^h 30' Le manomètre marque 2^{atm}; l'injecteur est ouvert à moitié; nouvelle charge; à partir de ce moment, il n'y a plus de fumée.
11^h 32' Le manomètre marque $2^{atm}.5$.
11^h 33' — — 3^{atm}.
11^h 34' — — $3^{atm}.5$.
11^h 35' — — 4^{atm}.
11^h 36' — — 5^{atm}.
11^h 37' — — 6^{atm}. (Timbre de la chaudière.)

Le feu a alors été jeté, le manomètre marquant 7 atmosphères.

Cette couche est horizontale, sauf une légère dépression naturellement produite, suivant l'axe de la selle, par l'oscillation continuellement imprimée aux huit barreaux *qa'*,... Les cornets sont maintenus toujours pleins jusqu'à l'orifice extérieur A, A_1; de temps à autre, le chauffeur fait faire un tour à l'arbre des cammes et introduit ainsi une petite charge de houille dans le foyer, afin de remplacer celle que la combustion fait disparaître, après l'avoir transformée en coke par le départ des gaz dont elle a successivement été purgée. La combustion s'opère, pour ainsi dire, dans un espace clos; la porte du foyer est constamment fermée et est simplement munie d'un regard V, pour jeter au besoin un coup d'œil sur le feu. Il faut, en effet, qu'un état particulier d'équilibre entre la production et la combustion du coke soit réglé de telle sorte que la disparition trop prompte du coke ne permette pas à la houille crue de se montrer et par suite d'engendrer de la fumée. Lorsque la proportion de chargement est atteinte, ce que l'expérience apprend rapidement, la surface de la masse embrasée offre l'aspect du coke, et cela d'une manière permanente, aucune superposition de charbon frais ne venant interrompre le rayonnement de cette surface. Ce seul détail semble devoir assurer une plus grande régularité de marche, en ce que les mécaniciens peuvent introduire du combustible frais quand ils le veulent et sans craindre de manquer de pression à un moment donné: cette opération est toujours accompagnée, dans le foyer Duméry, d'une augmentation de pression presque instantanée.

La *fig.* 4 indique le dispositif imaginé par M. Duméry pour imprimer un mouvement de rotation aux cammes *rs*, *st*;... Sur l'essieu d'avant du tender est calée une vis sans fin qui engrène une roue dentée, mise

en contact avec celle-ci par une double articulation, permettant à l'assemblage de suivre les mouvements horizontaux et verticaux du véhicule (1). Un arbre, avec tocs d'entraînement, est relié, par un embrayage que le chauffeur manœuvre à volonté par l'entremise d'une pédale *z*, placée sur la plate-forme de la machine, à un arbre qui, au moyen des roues dentées 1, 2, 3, 4 et 5 d'une vis sans fin *x* et d'une roue 6, fait mouvoir l'arbre transversal qui lui-même fait tourner les arbres GH, G'H' des cammes *rs*, *st*;... et *r's'*, *s't'*;... En cas d'avarie à ce dispositif, l'ensemble des deux arbres GH, G'H' peut être mis en mouvement à la main, par le chauffeur, au moyen d'une manivelle, d'un arbre horizontal et de la réunion des engrenages nécessaires. Pour la machine n° 75, un cadran placé sur cette tige répète les positions des cammes *rs*, *st*;..., et *r's'*, *s't'*;...

La *fig.* 4 *bis* représente le dispositif au moyen duquel s'obtient l'oscillation des huit barreaux *aa'*,.,. On remarquera qu'il est analogue au précédent, à l'égard duquel il est symétriquement placé sous le tender. En effet, il n'en diffère que : 1° par la suppression de l'embrayage, rendu inutile par la continuité du mouvement d'oscillation des barreaux, et de l'appendice propre à une manœuvre à bras d'hommes ; 2° par l'addition du levier *uv* attaché, par l'une de ses extrémités, à un boulon *u* excentriquement placé sur l'arbre, et par l'autre, à une petite manivelle *gv* qui fait osciller un secteur circulaire *gvk*. Dans huit ellipses réparties, suivant un arc de

(1) Pour la machine n° 75, la roue dentée a 25 dents, ce qui donne un tour pour 25 tours des roues du tender, soit 3,5 par kilomètre ; le rapport des autres engrenages est tel qu'une charge s'effectue dans le temps employé à parcourir 750 mètres environ. On conçoit que le chargement d'un quelconque des organes de transmission suffirait pour modifier cette durée.

cercle, sur ce secteur, sont entrées avec beaucoup de jeu les extrémités des huit barreaux *aa'*,... pivotant, d'ailleurs, librement sur leurs autres extrémités.

La commission ne doit pas oublier de mentionner, en terminant la description de l'appareil Duméry, une injection de vapeur dans la cheminée durant les stationnements, pour provoquer un petit appel d'air et activer ainsi le tirage. Cette injection,—déjà pratiquée ailleurs dans le même but, notamment par M. Chobrzinski, inspecteur principal de la traction au chemin de fer du Nord(1), — se fait par une tuyère de 0^{m}.006 de diamètre, terminant un tube en cuivre de 0^{m}.022 de diamètre qui est placé sur la chaudière et est muni d'un robinet.

La commission ajoutera que l'inspection des diverses parties du foyer Duméry qui sont exposées au feu a montré qu'elles n'étaient soumises à aucune détérioration particulière. Au point de vue de l'article 11 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, réglé par un arrêté ministériel du 1er août 1857, le foyer Duméry offre, par suite de l'introduction du combustible frais à la partie inférieure, cet avantage de ne pouvoir répandre sur la voie des fragments au maximum d'incandescence, comme cela a lieu dans les foyers ordinaires. Enfin la production de vapeur est convenable; et, bien que la machine n° 75 appartienne à une série exceptionnelle de trois machines peu en faveur auprès des mécaniciens, le train d'essai qui circule entre Paris et Meaux effectue toujours son trajet dans le temps réglementaire. La commission a voulu s'assurer que les résultats satisfaisants des expériences ne pouvaient être attribués qu'au mode de chargement adopté par M. Duméry; pour cela, à la fin d'une course d'essai, elle a fait

(1) *Annales des mines*, 5e série, t. IX, p. 60.

charger directement le foyer avec de la houille fraîche. Aussitôt elle a vu se manifester une épaisse fumée, qui a persisté longtemps, et que le jet de vapeur, alors même qu'il recevait toute la puissance possible, ne parvenait pas à diminuer sensiblement (1).

La qualité de la houille employée sur les chemins de fer de l'Est doit fixer l'attention, en raison des conditions défavorables qu'elle présente. La houille de Saarbrück est maigre, schisteuse, à distillation très-rapide, et par suite très-fumeuse; brûlée sur les grilles ordinaires, elle donne une fumée tout à fait intolérable; elle contient 15 p. 100 de cendres environ. Il est à remarquer que la grille à gradins est complétement inapplicable, lorsqu'on y brûle de la houille de Saarbrück, par suite de la rapide destruction des gradins. La commission a vu à la Villette des grilles de ce système qui avaient été mises hors de service au bout de quelques voyages seulement; d'ailleurs, elles ne diminueraient pas la fumée. On sait, au reste, que la grille à gradins est abandonnée au chemin de fer du Nord lui-même et remplacée par une grille peu inclinée, à barreaux longitudinaux (2).

Pour être convenablement brûlée dans l'appareil Duméry, la houille de Saarbrück est cassée en fragments tels qu'ils passent au travers du cercle supérieur d'un double tamis à mailles rectangulaires ($0^m.085$ sur $0^m.09$; $0^m.06$ sur 0.065); les morceaux passant à travers les mailles du cercle inférieur sont rejetés.

---

(1) En cas de dérangement complet du mécanisme de chargement, on ferait directement ce chargement. On en serait quitte pour avoir de la fumée et, au bout d'un certain temps, des avaries au foyer; mais la régularité de la marche des trains n'aurait point à en souffrir.

(2) *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. X, page 344.

La commission a cru pouvoir s'abstenir de terminer son rapport par des chiffres relatifs à la valeur économique de l'appareil Duméry. La remise de son travail, demandée dans un bref délai, aurait nécessairement été beaucoup retardée par les expériences comparatives très-prolongées auxquelles il aurait fallu se livrer pour apprécier convenablement la question d'économie. L'appareil est d'ailleurs trop récemment installé sur une seule machine pour que les chiffres que fournit l'essai puissent offrir un caractère définitif. Voici, du reste, le chiffre actuel de la consommation de la machine n° 75 par kilomètre parcouru. Aux chemins de fer de l'Est, le coke étant relativement plus pur que la houille, il est accordé aux mécaniciens 3 kilogrammes de houille pour 2 kilogrammes de coke : la machine n° 75 recevrait conséquemment pour les trains de Meaux 8^k,56 de coke, correspondant à 12^k,75 de houille, par kilomètre ; elle ne consomme effectivement que 10^k.56. Il y a donc, en ce moment, une économie de plus de 20 p. 100. Il n'y a pas de raison pour que la supériorité du foyer Duméry sur les foyers ordinaires d'appareil fixes, constatée par des commissions officielles ou spéciales, ne se maintienne pas également dans les machines locomotives. La commission se croit donc autorisée à avancer que la quantité de houille consommée sera moindre avec le foyer Duméry qu'avec un foyer ordinaire.

L'économie de combustible ne répond, en outre, qu'à un côté de la question, dont il convient certainement de tenir un grand compte, mais qui ne peut être le principal pour l'administration, laquelle a surtout en vue l'absence de fumée. Sous ce rapport, la commission ne craint pas de dire que le problème lui paraît complétement résolu ; elle regrette seulement de n'avoir pas pu voir le système Duméry appliqué à une machine effec-

tuant de longs parcours et notamment à une machine Crampton.

En résumé, les avantages du mode de chargement par la partie inférieure du foyer sont incontestables à tous égards, et le procédé inventé par M. Duméry pour chauffer à la houille les locomotives ne produit pas de fumée.

Ce procédé se présente au point de vue technique sous des apparences si séduisantes, et il y aurait, en cas de succès, une conquête si importante pour l'industrie métallurgique, en faveur de laquelle se résoudrait finalement le problème de la substitution de la houille au coke dans le chauffage des locomotives, que la commission n'hésite pas à proposer à l'administration de recommander aux compagnies de chemins de fer l'essai du système Duméry.

ÉTUDES SUR LE MÉTAMORPHISME.

Par M. DELESSE, ingénieur des mines.

Le métamorphisme est l'une des questions les plus importantes et les plus controversées de la géologie. Aussi, depuis qu'il a pris rang dans la science par les belles recherches de Hutton, a-t-il été l'objet d'un très-grand nombre de recherches. Il me suffira de citer parmi les géologues qui à différents points de vue ont spécialement étudié le métamorphisme : § 1. *Métamorphisme.*

MM. de Dolomieu, Faujas de Saint-Fond, Desmarets, Cordier, Élie de Beaumont, Dufrénoy, Fournet, d'Archiac, Virlet, d'Omalius, Boué, A. Burat, de Boucheporn, Durocher, Sc. Gras, Daubrée, Ch. Deville, Coquand, Leymerie, Gueymard, Angelot, Drouot, Delanoue, en France;

Hutton, Sir J. Hall, Sir G. Mackenzie, Playfair, Mac Culloch, Jameson, Conybeare, Buckland, Greenough, Sir Charles Lyell, Sir Roderick Murchison, Sedgwich, le colonel Portlock, Daubeny, Berger, Poulett Scrope, Henslow, Necker, Ramsay, en Angleterre;

MM. L. de Buch, de Humboldt, Naumann, de Leonhard, Mitscherlich, Hausmann, W. Haidinger, G. Bischoff, B. Cotta, G. Rose, Abich, Hoffmann, Alberti, Bunsen, de Morlot, en Allemagne;

MM. de Saussure, Studer, Escher de la Linth, P. Merian, de Collegno, Savi, A. de la Marmora, Pareto, de Marignac, A. Favre, Theobald, en Suisse et en Italie;

MM. Breislak, Keilhau, A. Erdman et Schéerer, dans la presqu'île Scandinave ;

MM. Dana, Silliman, Rogers, Hitchcock, Jack son, Whitney, Sir W. Logan, Sterry Hunt, en Amérique.

Le métamorphisme, si l'on prend ce mot dans son acception la plus générale, comprend toutes les altérations éprouvées par les roches. Il embrasse des phénomènes extrêmement complexes, qui sont pour la plupart enveloppés d'une grande obscurité : aussi depuis longtemps a-t-on senti la nécessité de les diviser pour parvenir à les étudier. On distingue ordinairement : 1° le *métamorphisme normal* ou *général*, qui résulte de causes le plus souvent invisibes et qui s'est produit sur une très-grande échelle ; 2° le *métamorphisme anormal* ou plutôt *spécial*, qui résulte de causes accidentelles, mais visibles, et qui est le plus souvent limité à une petite étendue (1). Dans ce mémoire, je m'occuperai seulement de ce dernier métamorphisme et plus particulièrement du *métamorphisme dit de contact*.

§ 2. *Métamorphisme de contact.*

Le métamorphisme de contact est le plus simple, mais il présente encore un champ d'étude extrêmement vaste. Il comprend en effet les réactions mutuelles de deux roches contiguës. Je me contenterai d'examiner le cas où l'une des deux roches est à base de silicates, et peut être considérée comme éruptive.

Cette roche éruptive a d'abord produit un métamorphisme dans la roche encaissante ; mais réciproquement aussi cette dernière a réagi sur la roche éruptive elle-même. Il y a eu à la fois *action* et *réaction*, c'est ce que M. Cotta appelle *métamorphisme éverse* et *métamorphisme inverse ;* c'est encore ce que M. Fournet caractérise par les mots *exomorphisme* et *endomorphisme.*

Toutefois les principaux effets doivent être attribués à l'action directe de la roche éruptive ; car cette roche était à l'état plastique, tandis qu'il n'en était généralement pas de même pour celles à travers lesquelles elle pénétrait.

(1) D'Archiac. *Histoire des progrès de la géologie*, t. V, 2e série, p. 3.

Une roche éruptive a d'ailleurs métamorphosé la roche encaissante, non-seulement au contact immédiat et par une action directe, mais encore jusqu'à une grande distance, par des infiltrations d'eaux chargées de matières minérales, ou par des dégagements de gaz et de vapeurs (1).

Elle a quelquefois donné lieu à la formation de gypse, d'anhydrite, d'alunite. Dans certains cas, la dolomie paraît avoir aussi une origine éruptive. Enfin les filons métallifères ont souvent accompagné les éruptions des roches silicatées, qui peuvent elles-mêmes être imprégnées de minerais métalliques (2).

Cependant, je ne mentionnerai ces divers phénomènes qu'autant qu'ils s'observeraient au contact de la roche éruptive; car ils ne résultent pas d'une action directe de la roche silicatée, et ils sont étrangers au métamorphisme de contact proprement dit.

Le métamorphisme de contact offre du reste par lui-même un grand intérêt; car il est bien évident et il ne saurait être révoqué en doute. Il s'observe dans un espace généralement très-limité, en sorte que la roche modifiante, la roche normale et la roche modifiée se trouvent réunies. On voit en même temps l'effet et la cause; aussi est-il possible de remonter de l'un à l'autre et d'expliquer les métamorphoses les plus complexes qui ont été éprouvées par les roches. Le métamorphisme de contact est donc la base naturelle de toute recherche sur le métamorphisme. D'ailleurs, *c'est à l'œuvre qu'on connaît l'artisan*, dit le proverbe, en sorte que son étude doit évidemment jeter du jour sur l'origine encore si obscure des roches éruptives.

---

(1) Élie de Beaumont. *Note sur les émanations volcaniques et métallifères.*

(2) A. Burat. *Traité des minéraux utiles.*

§ 3. *Division.* — Quelques mots sont maintenant nécessaires pour faire connaître la division adoptée dans ce travail.

Son but est le métamorphisme de contact lorsque l'une des roches peut être considérée comme éruptive, l'autre étant alors roche encaissante.

Je suppose, du reste, que les deux roches ne passent pas l'une à l'autre, et qu'elles soient au contraire séparées par une limite nette.

Le métamorphisme de contact comprend, non-seulement l'action de la roche éruptive sur la roche encaissante, mais encore la réaction de cette dernière sur la roche éruptive elle-même. Il comprend aussi toutes les altérations qui en ont été la conséquence.

Métamorphisme de la roche encaissante. Je m'occuperai d'abord du *métamorphisme de la roche encaissante*, qui est de beaucoup le plus important.

Métamorphisme de la roche éruptive. Il restera ensuite à étudier le *métamorphisme de la roche éruptive.* Ce dernier est rare et généralement très-limité, tant qu'il n'y a pas passage entre les deux roches.

Roche éruptive. L'un et l'autre métamorphisme dépend d'ailleurs à la fois, et de la *roche éruptive* et de la *roche encaissante.*

L'étude du métamorphisme fait voir de suite qu'il est nécessaire de grouper les phénomènes produits par des roches éruptives de même nature. Or, comme je considère seulement le cas où la roche éruptive est silicatée, il suffit de s'occuper spécialement de trois classes de roches : les *laves*, les *roches trappéennes*, les *roches granitiques.*

Laves. Les *laves* ont une origine ignée incontestable. Il était donc très-utile d'étudier leur métamorphisme à part; car il a une cause connue, et il peut en quelque sorte servir de repère pour les autres roches. Toutefois, je ne suis pas entré dans les détails très-circonstanciés relativement au métamorphisme qu'elles ont produit,

et je me suis borné à ce qui était nécessaire pour établir une comparaison.

On donne quelquefois le nom de laves à toutes les roches volcaniques qui présentent des traces de coulée, qu'elles aient une origine ignée ou aqueuse (lave de feu, lave d'eau). Je ne lui attribuerai pas une acception aussi étendue et je l'appliquerai uniquement aux roches anhydres qui ont une origine ignée. Leur composition minéralogique peut d'ailleurs être très-variable.

J'appelle *roches trappéennes* les roches hydratées qui ont pour base un feldspath du sixième système. Par sa forme et même par sa composition, leur feldspath est toujours plus ou moins voisin de l'anorthite; si donc on désignait d'une manière générale tout feldspath du sixième système sous le nom d'*anorthose*, les roches trappéennes pourraient aussi être nommées *roches anorthosées*. ***Roches trappéennes.***

Elles comprennent d'ailleurs le basalte, la dolerite, l'hypérite, l'euphotide, le trapp, la diorite, l'amphibolithe, le greenstone, la kersantite, etc.

Elles ont habituellement pour base un feldspath hydraté.

Plusieurs d'entre elles montrent des rapports très-intimes avec les laves auxquelles elles sont souvent associées.

Je leur réunirai la lherzolithe ainsi que la serpentine qui accompagne fréquemment l'euphotide et la diorite.

Je m'étendrai avec beaucoup de détail sur le métamorphisme des roches trappéennes, car ses effets sont généralement simples et très-limités; ils sont de plus irrécusables, en sorte qu'il est bon de les prendre pour point de départ dans une étude du métamorphisme. D'ailleurs comme la roche normale et la roche métamorphique ne se trouvent le plus souvent qu'à une très-

petite distance l'une de l'autre, il est plus facile de se mettre à l'abri des différences de composition que présente toujours une même roche, et par suite d'apprécier l'altération qui résulte du métamorphisme.

Roches granitiques.

Je considérerai ensuite les *roches* que j'appelle *granitiques*. Elles contiennent du feldspath *orthose*, et par conséquent elles appartiennent aux *roches orthosées*. Leur type principal est le granite. Elles comprennent en outre la syénite, la protogine, le porphyre, l'eurite, la minette et même le gneiss.

Le métamorphisme qu'elles ont produit n'est généralement pas très-net. Presque toujours la roche encaissante est elle-même cristalline, surtout si la roche éruptive est le granite : alors le métamorphisme de contact est très-difficile à apprécier, car il se confond avec le métamorphisme normal ou général.

Les roches orthosées qui renferment de l'orthose vitreux appartiennent, comme on sait, à la famille du trachyte. Parmi ces roches, il en est qui sont hydratées, telles que le rétinite, le perlite, le phonolithe et même l'obsidienne. Le métamorphisme qu'elles ont produit, étant tout différent de celui des roches granitiques elles seront réunies aux roches trappéennes ; en sorte que toutes les roches volcaniques hydratées seront groupées avec les roches trappéennes.

Roche encaissante.

— Si le métamorphisme de contact dépend de la roche éruptive, il dépend aussi de la *roche encaissante*. Des roches éruptives diverses peuvent en effet produire le même métamorphisme, lorsqu'elles sont enclavées dans une même roche. Pour chaque roche éruptive, il importe donc d'étudier successivement les phénomènes produits dans des roches encaissantes de nature différente.

Je distinguerai seulement les principales roches,

savoir : les *minerais*, les *combustibles*, les *roches feldspathiques*, les *roches calcaires*, *siliceuses* et *argileuses*.

Les *minerais* sont, il est vrai, des roches tout à fait accidentelles; cependant les minerais de fer se rencontrent assez fréquemment. Comme d'ailleurs les minerais sont facilement modifiés, il est utile d'examiner ce qu'ils sont devenus près du contact des filons. *Minerais.*

Les *combustibles* sont encore des roches assez rares; mais leur composition est simple et toute différente de celle des roches éruptives. Ils conservent la trace des altérations les plus légères. En outre, leurs caractères sont complétement modifiés par une élévation de température qui serait trop faible pour produire aucun effet sensible sur d'autres roches; on comprend donc que l'étude du métamorphisme y soit par cela même très-intéressante. *Combustibles.*

Les *roches feldspathiques* sont très-variées, mais compactes et peu altérables. Leur métamorphisme est assez uniforme, en sorte qu'il suffira d'en citer quelques exemples. *Roches feldspathiques.*

Ce sont les roches stratifiées normales, c'est-à-dire les roches calcaires, siliceuses et argileuses qui ont de beaucoup la plus grande importance.

Les *roches calcaires* sont aisément métamorphosées et d'une manière très-différente suivant leur composition. *Roches calcaires.*

Elles comprennent les roches qui sont à la base de carbonate de chaux ou de magnésie et aussi celles qui sont à base de sulfate de chaux.

Les *roches siliceuses*, formées pour la plus grande partie de quartz, sont assez peu altérables, à moins qu'elles ne soient arénacées et par suite poreuses. *Roches siliceuses.*

Les *roches argileuses* sont compactes et cependant facilement altérables. Leur composition est complexe *Roches argileuses.*

et elles renferment déjà les mêmes substances que la roche éruptive : il m'a paru d'après cela qu'il était nécessaire de réserver pour la fin l'étude du métamorphisme dans les roches argileuses.

— Lorsque deux roches contiguës ont réagi très-fortement, elles présentent généralement un passage insensible. Ce métamorphisme spécial s'observe très-fréquemment et même sur des roches qui diffèrent tout à fait par leur composition minéralogique. Ainsi, dans l'Oural, M. G. Rose a signalé le passage du porphyre augitique au schiste.

Dans la Norwége, M. Keilhau a constaté de même les passages les plus remarquables entre les différentes roches.

Toutefois, comme il n'existe plus de limite nette entre les deux roches extrêmes, je ne m'occuperai pas de ce métamorphisme.

Il importe d'ailleurs de remarquer qu'il s'est ordinairement produit sur une grande échelle; il forme donc une sorte de lien entre le métamorphisme de contact et le métamorphisme normal ou général, et il se rapproche même beaucoup de ce dernier.

En résumé, j'étudierai le métamorphisme de contact lorsque les deux roches sont séparées par une limite nette. Je le décrirai dans les laves, les roches trappéennes, les roches granitiques; puis, pour chacune de ces roches éruptives, je l'examinerai successivement dans les différentes roches encaissantes qui ont été signalées.

Le mémoire comprendra d'ailleurs deux parties distinctes :

I. Le métamorphisme de la roche encaissante;

II. Le métamorphisme de la roche éruptive.

Je vais exposer rapidement la marche qui a été suivie. § 4. *Marche suivie.*

Il m'a d'abord paru indispensable de bien préciser les faits et je procède toujours en citant des exemples. De plus, c'est en ayant les échantillons sous les yeux que je donne leur description.

Je commence par faire connaître le gisement de chaque roche dont je me propose d'étudier le métamorphisme. Je décris ensuite la roche éruptive, la roche normale qu'elle traverse, puis la roche métamorphique. Je détermine les principaux caractères de ces trois roches, notamment leur densité, leur proportion d'eau et d'acide carbonique, leur composition minéralogique et chimique.

Il est facile de comprendre que ces recherches sont absolument nécessaires pour arriver à définir avec netteté le métamorphisme. Elles permettent en effet de comparer la roche métamorphique avec la roche normale et avec la roche éruptive. Elles font connaître les variations qu'elle a éprouvées, soit dans sa structure, soit dans sa composition. Elles indiquent donc les altérations causées par la perte ou par l'introduction de certaines substances.

Les métamorphoses éprouvées par la roche métamorphique sont assurément très-complexes et elles portent à la fois sur presque toutes ses propriétés; mais elles sont cependant plus spécialement caractérisées, soit par le développement de certains minéraux, soit par des changements de structure. Je décrirai donc successivement les minéraux qui se sont formés, ainsi que les différentes structures que peut prendre chaque roche métamorphique.

J'aurais pu multiplier beaucoup les exemples de métamorphisme de contact; mais les recherches de laboratoire qu'il fallait entreprendre pour chaque gisement

étaient quelquefois assez longues ; je me suis donc borné aux gisements que j'avais explorés moi-même ou bien à ceux qui sont devenus classiques et dans lesquels le métamorphisme est incontestable.

Les échantillons que j'ai soumis à l'analyse étaient choisis de manière à ce qu'ils fussent autant que possible homogènes. De plus ils étaient pris à une petite distance l'un de l'autre et sur la même couche lorsqu'il s'agissait de terrains stratifiés. On était assuré ainsi que les variations de leur composition chimique devaient être uniquement attribuées au métamorphisme.

J'ai cherché d'ailleurs à généraliser les phénomènes observés et à les graduer de manière à passer toujours du simple au composé.

Mes analyses ont été faites en partie à l'École des Ponts et Chaussées, dans le laboratoire de mon ami M. Hervé Mangon.

Enfin, j'ai réuni dans ce mémoire les observations que j'ai recueillies depuis plusieurs années dans divers voyages en Allemagne et en Suisse, ainsi que dans un voyage en Irlande entrepris en 1852 avec M. de Verneuil.

§ 5. *Importance trop grande attribuée à l'action de la chaleur.*

A mesure que j'avançais dans l'étude du métamorphisme, je n'ai pas tardé à m'apercevoir qu'on avait attribué une importance exagérée à l'action de la chaleur. On sait, par exemple, qu'on a donné le nom de *thermantides* et de *porcelanites* à des roches métamorphiques qui se trouvent surtout au contact des basaltes et des trapps. Une certaine ressemblance de ces roches avec celles qui se produisent dans les houillères en combustion, a fait admettre qu'elles résultent d'une action ignée exercée par la roche éruptive. Mais les résultats auxquels je suis arrivé montreront, j'espère, que cette idée est inexacte et que la chaleur n'a eu qu'une part restreinte dans leur formation. Il en est de même pour diverses

roches metamorphiques ou éruptives, auxquelles on attribue ordinairement une origine exclusivement ignée.

Toutefois, pour que ces faits puissent être rigoureusement démontrés, il est nécessaire d'indiquer d'abord, dans un préambule sommaire, quelle est l'action exercée par la chaleur sur les principales roches.

ACTION DE LA CHALEUR SUR LES ROCHES.

Lorsque dans le laboratoire on soumet des roches à § 6.
l'action de la chaleur, elles perdent leur eau et leurs matières volatiles, elles changent de couleur, et suivant la température à laquelle elles sont calcinées, elles peuvent s'agglutiner ou fondre complétement.

Souvent elles prennent la structure prismatique; c'est par exemple ce que l'on observe très-bien dans la fabrication du coke et aussi sur les grès qui forment la chemise intérieure des hauts fourneaux. Elles prennent aussi une structure vitreuse, celluleuse ou scoriacée. Toujours elles portent avec elles un cachet spécial qui les rend très-faciles à reconnaître.

L'action de la chaleur sur les roches dépend, du reste, essentiellement de leur composition; aussi, vais-je rappeler les métamorphoses qu'elle produit dans les principales roches.

MINERAIS.

Parmi les minerais qu'on rencontre le plus souvent, la § 7.
pyrite de fer perd une partie de son soufre, l'hydroxyde de fer son eau, le carbonate de fer son acide carbonique.

COMBUSTIBLES.

Les combustibles perdent leur eau et leurs matières § 8.
volatiles; ils donnent alors un charbon ou un coke. Il importe surtout de bien observer que, par l'application

de la chaleur, la houille ou le lignite ne se transforment pas en anthracite.

Température à laquelle les combustibles perdent leurs matières bitumineuses.

La température à laquelle les combustibles perdent leurs matières volatiles est d'ailleurs beaucoup moins élevée qu'on n'est porté à le croire, d'après ce qui a lieu dans la fabrication du coke ou du gaz de l'éclairage. Il m'a paru intéressant de la déterminer, et, à ma demande, M. Jacquelain a bien voulu s'en charger.

Les différents combustibles, la tourbe, la lignite, la houille, l'anthracite ont été soumis à une distillation dans une cornue chauffée peu à peu et régulièrement au moyen d'un bain métallique dans lequel elle était plongée. Il s'est d'abord dégagé de l'eau, puis des matières volatiles, qui ont donné une odeur empyreumatique; on a noté la température à laquelle cette odeur se faisait sentir. En chauffant davantage, il s'est ensuite produit une distillation de plus en plus active. Les températures ont été prises avec le thermomètre à mercure et lorsqu'elles étaient élevées avec des alliages fusibles.

Action de la chaleur sur les Combustibles.

NATURE DU COMBUSTIBLE.	TEMPÉRATURE produisant :		Observations.
	l'odeur empyreumatique.	la distillation.	
Tourbe de Ham	220°	260°	(a)
Id. de Lascases	230	260	
Id. du Shannon	230	260	(b)
Lignite d'Ici-en Suisse	220	285	(c)
Id. de Nucetto en Piémont	220	300	(d)
Houille irisée de Saint-Etienne	150	400	(e)
Id. de Dresde	205	400	
Id. anglaise dite *Cannel coal*	295	400	
Anthracite de Swansea	310	400	

(*a*) La distillation est la plus active à 360°, elle s'affaiblit à 400°.
(*b*) La distillation est encore très-active à 400°.
(*c*) La distillation est active à 300°.
(*d*) La distillation est active à 400°.
(*e*) La distillation est très-faible à 400°.

Ces expériences montrent que la température à laquelle s'opère la distillation des matières bitumineuses dans les combustibles est à peu près de 260° pour la tourbe, de 300° pour le lignite, de 400° au moins pour la houille et l'anthracite. La température à laquelle un combustible commence à perdre ses matières bitumineuses et par suite à se changer en charbon ou en coke est donc très-peu élevée; elle est en tous cas bien inférieure au rouge.

Si l'on admet maintenant que l'augmentation de température à l'intérieur de la terre soit de 1° pour 33 mètres, la température de 400° correspondra à une profondeur de 13,200 mètres; par conséquent il suffirait qu'une roche éruptive vînt d'une profondeur de 13 kilomètres, pour que les couches de houille qu'elle traverserait fussent métamorphosées en coke.

Comme d'ailleurs les combustibles perdent une grande partie de leur eau à une température peu supérieure à 100°, ils seraient déjà très-notablement altérés par une roche quelconque, qui, par suite d'une rupture du sol, surgirait subitement d'une profondeur de 4 kilomètres.

§ 9. *Les combustibles peuvent perdre leurs matières bitumineuses par dissolution.*

Il n'est pas inutile de remarquer ici que les combustibles peuvent perdre leurs matières bitumineuses et volatiles, autrement que par la chaleur. Ainsi lorsqu'on les traite par la benzine, qui est un des produits de la distillation de la houille, on en dissout certaines parties. M. Jacquelain, qui a eu l'obligeance d'exécuter ces essais, a trouvé que, pour la tourbe, la proportion dissoute par la benzine est considérable et peut dépasser 25 p. 100; pour le lignite elle s'élève encore à plusieurs centièmes. Pour la houille la proportion est ordinairement moindre.

On sait du reste que les combustibles sont attaqués

par les alcalis. Ils le sont même par les carbonates alcalins. La proportion de ces combustibles qui est dissoute est d'autant plus grande qu'ils renferment plus de matières volatiles : elle va successivement en diminuant dans la tourbe, dans le lignite et dans la houille.

Lorsque des couches de combustible sont situées à une certaine profondeur dans l'intérieur de la terre, elles sont traversées par des eaux plus ou moins chaudes et contenant des substances minérales, notamment des sels alcalins. Il est facile de comprendre que l'action très-prolongée de ces eaux dissout peu à peu les parties bitumineuses du combustible qui doit, par conséquent, s'enrichir en carbone. Si les eaux sont à la température ordinaire, leur action s'exerce encore, bien qu'elle soit beaucoup plus faible et par suite plus lente ; mais, comme les périodes géologiques ont une durée presque indéfinie, elle produira, en définitive, les mêmes effets. Il n'est donc pas étonnant que les combustibles soient d'autant plus riches en carbone qu'ils sont plus anciens.

Ainsi, on peut entrevoir, dès à présent, que les différences existant entre le lignite, la houille, l'anthracite et le graphite ne résultent pas d'une distillation sèche, mais plutôt d'une dissolution. C'est d'ailleurs ce que viendra confirmer l'étude du métamorphisme subi par les combustibles qui sont au voisinage des roches trappéennes ou granitiques.

ROCHES CALCAIRES.

§ 10. Quand on calcine des roches calcaires, il se produit de la chaux caustique. Si la roche est marneuse elle peut entrer en fusion.

Le gypse se change, comme l'on sait, en chaux sul-

fatée anhydre, et une température de 120° suffit pour que son eau se dégage. De plus, quand il a été chauffé fortement, il ne reprend pas son eau; on est donc naturellement conduit à penser que du gypse, au contact d'une roche ignée, a dû se changer en anhydrite.

ROCHES SILICATÉES.

§ 11. J'ai déjà fait connaître dans une publication antérieure quelle est l'action de la chaleur sur les roches silicatées. Toutes ces roches se comportent à peu près de la même manière. Leur fusibilité est généralement d'autant moindre qu'elles sont plus riches en silice. Quand elles sont amenées à fusion, elles donnent tantôt un verre, tantôt une scorie plus ou moins cristalline; en même temps leur densité éprouve une diminution (1).

§ 12. *Action des alcalis sur un grès devenu prismatique par la chaleur.*

Du reste les roches silicatées qui ont été fondues s'attaquent fortement par les alcalis (2).

Comme on rencontre assez souvent des grès prismatiques au contact de filons de basalte, il m'a paru intéressant de rechercher comment se comportait avec les alcalis un grès devenu prismatique par l'action de la chaleur. En conséquence j'ai opéré sur un grès prismatique provenant de l'ouvrage d'un haut fourneau. Ce grès était très-quartzeux; il montrait seulement quelques parties celluleuses et noirâtres qui avaient fondu. Après ébullition dans une lessive concentrée de potasse, il n'a laissé dissoudre que... 4,5 de silice. Si cette proportion n'est pas plus grande, cela tient à ce

(1) Delesse. *Recherches sur les verres provenant de la fusion des roches.* (Bulletin de la soc. géol., 2e série, t. IV, p. 1380), et Ch. Deville: *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XX.

(2) *Action des alcalis sur les roches.* (Bulletin de la société géologique, 2e série, t. XI, p. 127).

qu'une petite partie seulement de la roche était vitrifiée. On voit toutefois qu'un grès quartzeux devenu prismatique par l'action de la chaleur s'attaque très-notablement par les alcalis.

§ 13. — Jusqu'à présent j'ai indiqué seulement les métamorphoses subies par les principales roches, lorsque la chaleur s'exerce dans les laboratoires ou à la surface de la terre. Mais dans les volcans, la chaleur agit à l'intérieur de la terre ; ses effets viennent alors se compliquer de ceux qui sont dus à la pression, à la vapeur d'eau et à des dégagements de gaz; on comprend qu'ils puissent ne pas être les mêmes, et en tout cas il convient de les étudier spécialement.

Or les incendies souterrains occasionnés par les combustibles qui brûlent à l'intérieur de la terre, viennent nous offrir des conditions qui sont à peu près semblables à celles dans lesquelles agissent les volcans. L'étude des effets qu'ils produisent sur les roches est donc une introduction toute naturelle au métamorphisme exercé par les laves.

ACTION DE LA CHALEUR SUR LES ROCHES

DANS LES INCENDIES SOUTERRAINS.

§ 14. Je vais passer rapidement en revue les roches altérées par les incendies souterrains et je ferai connaître leurs principaux caractères.

Ces incendies résultent comme on sait de la combustion de la houille, du lignite, de l'anthracite et de schistes imprégnés de matières charbonneuses.

MINERAIS.

§ 15. Parmi les minerais qui ont été modifiés, je signalerai les minerais de fer, notamment le fer carbonaté. Ainsi

dans la mine de houille de Commentry, on trouve du fer carbonaté argileux qui a été complétement décomposé par la chaleur de l'incendie souterrain. Il présente le même aspect que lorsqu'on le fait griller; sa couleur est noire et terne: il est devenu rugueux et celluleux; quelquefois même il a été scorifié près de sa surface. J'ai constaté qu'il ne contient plus d'acide carbonique. Lorsqu'on le calcine, il éprouve seulement une perte de quelques millièmes due à un peu d'eau hygrométrique.

La chaleur qui agit à l'intérieur de la terre, peut donc très-bien volatiliser l'eau et dégager l'acide carbonique.

COMBUSTIBLES.

L'incendie des couches de combustibles fait éprouver des métamorphoses à ces combustibles eux-mêmes. § 16.

D'abord les parties charbonneuses peuvent disparaître complétement, et alors il ne reste plus qu'une couche de cendres. Ces cendres se présentent avec des caractères très-différents suivant leur nature et suivant la température qui a été développée par la combustion.

Lorsqu'elles sont réfractaires elles ne fondent pas; ainsi à Menat, en Auvergne, la cendre provenant de la combustion spontanée d'une couche de lignite est un tripoli schisteux et pulvérulent qui est coloré en rouge par de l'oxyde de fer.

Mais les centres peuvent aussi fondre et même se vitrifier complétement : on en a des exemples dans plusieurs houillères embrasées.

On comprend maintenant que la chaleur dégagée par les incendies souterrains doive altérer les combustibles, lors même qu'ils ne sont pas brûlés. M. Drian a fait à ce sujet des observations intéressantes à la

Montagne-de-Feu de Saint-Genis-Terre-Noire, près de Rive-de-Gier (1). Il a constaté, en effet, que la houille présente différents degrés d'altération vers la limite des couches incendiées. Le premier degré est indiqué par une irisation assez vive : puis, sur 2 mètres environ, la houille est celluleuse et criblée de cavités; en même temps elle devient plus dure et plus brillante : elle passe ensuite à un coke ayant l'éclat métallique. Enfin ce dernier disparaît lui-même complétement, et il ne reste plus que des cendres.

Il importe d'ailleurs de remarquer que cette houille carbonisée par les incendies souterrains décrépite si fortement au feu qu'elle ne peut pas être exploitée.

La distance à laquelle la houille a été métamorphosée par les incendies souterrains est quelquefois de plusieurs mètres, comme à la Montagne-de-Feu; mais souvent aussi elle est seulement de quelques centimètres.

Telles sont les métamorphoses produites sur les combustibles par les incendies souterrains : il était nécessaire de les étudier spécialement, car nous les retrouverons pour la plus grande partie au contact des roches trappéennes.

ROCHES SILICATÉES.

§ 17. Les métamorphoses des roches silicatées diffèrent peu de celles qu'elles éprouvent lorsqu'elles sont soumises à une simple calcination.

Si la chaleur a été modérée, les couches argileuses associées au combustible incendié se sont plus ou moins agglutinées. Elles prennent des teintes très-vives, rouges, violettes, vertes, brunes, noires; elles sont veinées ou jaspées, et les traces de la stratification s'y

(1) *Minéralogie et pétralogie des environs de Lyon*, p. 220.

Ces expériences montrent que la température à laquelle s'opère la distillation des matières bitumineuses dans les combustibles est à peu près de 260° pour la tourbe, de 300° pour le lignite, de 400° au moins pour la houille et l'anthracite. La température à laquelle un combustible commence à perdre ses matières bitumineuses et par suite à se changer en charbon ou en coke est donc très-peu élevée; elle est en tous cas bien inférieure au rouge.

Si l'on admet maintenant que l'augmentation de température à l'intérieur de la terre soit de 1° pour 33 mètres, la température de 400° correspondra à une profondeur de 13,200 mètres; par conséquent il suffirait qu'une roche éruptive vînt d'une profondeur de 13 kilomètres, pour que les couches de houille qu'elle traverserait fussent métamorphosées en coke.

Comme d'ailleurs les combustibles perdent une grande partie de leur eau à une température peu supérieure à 100°, ils seraient déjà très-notablement altérés par une roche quelconque, qui, par suite d'une rupture du sol, surgirait subitement d'une profondeur de 4 kilomètres.

§ 9. *Les combustibles peuvent perdre leurs matières bitumineuses par dissolution.*

Il n'est pas inutile de remarquer ici que les combustibles peuvent perdre leurs matières bitumineuses et volatiles, autrement que par la chaleur. Ainsi lorsqu'on les traite par la benzine, qui est un des produits de la distillation de la houille, on en dissout certaines parties. M. Jacquelain, qui a eu l'obligeance d'exécuter ces essais, a trouvé que, pour la tourbe, la proportion dissoute par la benzine est considérable et peut dépasser 25 p. 100; pour le lignite elle s'élève encore à plusieurs centièmes. Pour la houille la proportion est ordinairement moindre.

On sait du reste que les combustibles sont attaqués

§ 19. *Une roche fortement chauffée à la surface ou à l'intérieur de la terre, a reçu un cachet particulier et indélébile.*

— En résumé, l'action de la chaleur sur les roches est à peu près la même, soit à la surface, soit à l'intérieur de la terre; car on vient de voir que les roches métamorphosées à une grande profondeur par les incendies souterrains. ressemblent toujours beaucoup, quelquefois même complétement, aux produits du laboratoire et de l'industrie.

Lors donc que, soit à la surface, soit à l'intérieur de la terre, une roche a été soumise à une chaleur intense, elle a toujours reçu un cachet particulier et indélébile; elle a pris un certain air de famille qui la fait reconnaître facilement et qui révèle de suite son origine.

L'étude du métamorphisme dû aux laves va compléter maintenant ce qui vient d'être dit sur l'action de la chaleur à l'intérieur de la terre. Après ce préambule, j'aborde en effet la première partie de ce mémoire, qui comprend le métamorphisme de la roche encaissante et je m'occupe d'abord du métamorphisme produit par les laves.

PREMIÈRE PARTIE.

MÉTAMORPHISME DE LA ROCHE ENCAISSANTE.

I. LAVES.

§ 20. Le métamorphisme que les laves font subir aux roches avec lesquelles sont en contact a été étudié depuis longtemps par Spallanzani, Breislak, Dolomieu, Faujas et de Saussure. Il est facile de comprendre qu'il doit surtout résulter de l'action de la chaleur. Les combustibles vont immédiatement nous en fournir la preuve.

COMBUSTIBLES.

Les laves et les roches volcaniques de l'Auvergne ont quelquefois enveloppé des végétaux, et alors elles les ont convertis en charbon. Je vais en citer deux exemples. § 21.

Bois carbonisé et imprégné de substances minérales.

Puy-de-Montchié. — Les détritus volcaniques qui forment la base du Puy-de-Montchié renferment des troncs d'arbre plus ou moins carbonisés.

Le charbon que j'ai examiné est d'un beau noir, à éclat métallique. Il est friable, très-poreux, léger comme du fusain. Il tache les doigts. Il a bien conservé la structure du bois, et, d'après MM. Lecocq et Bouillet, il paraît provenir du bouleau. Sa combustion est facile, et il laisse une cendre parfaitement blanche. Cette cendre consiste presque entièrement en carbonate de chaux ; elle renferme seulement des traces de silice et d'alumine ; on n'y trouve du reste pas de sulfates.

Carbonate de chaux.

Bois carbonisé du Puy-de-Montchié (1).

Carbone	52,50
Cendres (Carbonate de chaux, traces de silice et d'alumine)	5,00
Perte au feu	42,50
Somme	100,00

La perte au feu est très-considérable, et dans l'essai d'un autre échantillon, j'ai même constaté qu'elle peut dépasser 45 p. 100. Il est d'ailleurs facile de s'en rendre compte, puisque ce bois est quelquefois brun-noirâtre et très-imparfaitement carbonisé ; de plus, il est toujours imbibé d'eau ; enfin, il est très-poreux, et par conséquent il doit avoir une grande puissance d'absorption.

(1) Lecocq et Bouillet. *Vues et coupes du département du Puy-de-Dôme*, p. 65 : Échantillon n° LXXV.

Auvergne. — J'ai encore examiné un bois qui avait été carbonisé par une lave et qui provenait d'une collection d'Auvergne, envoyée à l'École des Mines par M. le comte de Laizer. Il est en gros troncs qui ont bien conservé la structure du bois; mais il est visiblement très-impur, puisque sa densité s'élève à... 2,210. Il brûle très-difficilement et laisse une cendre brune. Cette cendre se dissout avec effervescence dans l'acide chlorhydrique, et après ébullition il reste seulement quelques flocons d'argile.

Bois carbonisé d'Auvergne.

Carbone			18,75
Cendres.. 46,48	Carbonate de chaux.		6,21
	Oxyde de fer très-légèrement argileux.		40,27
Perte au feu			34,77
	Somme		100,00

La perte au feu de ce bois carbonisé est plus faible que celle du précédent, mais elle est encore supérieure à celle du charbon de bois fabriqué artificiellement; car, d'après M. Berthier, le charbon de bois renferme au plus 20 p. 100 d'eau, lorsque l'air est très-humide (1).

Carbonate de chaux et hydroxyde de fer.

Ce bois carbonisé d'Auvergne est d'ailleurs imprégné de carbonate de chaux, et surtout d'hydroxyde de fer; c'est ce qui explique pourquoi sa densité est aussi grande.

§ 22. *Résumé. Laves et combustibles.*

— En résumé, lorsque les laves sont en contact avec les combustibles, elles les calcinent plus ou moins, et les changent en charbon noir ou en charbon roux. C'est ce que nous voyons se produire sous nos yeux au Vésuve et dans les volcans en activité, quand une coulée de lave vient à rencontrer des végétaux.

(1) *Traité des essais par la voie sèche*, t. I, p. 279.

Les laves des anciens volcans de l'Auvergne ont aussi changé en charbon les végétaux qu'elles ont enveloppés. De plus, ce charbon a souvent été imprégné de substances minérales, telles que le carbonate de chaux et l'hydroxyde de fer. On comprend que ces substances y ont été introduites par infiltration, et il est très-facile de s'en rendre compte, puisque le charbon est très-poreux et qu'il jouit d'une grande puissance d'absorption. D'ailleurs les végétaux enveloppés par une roche éruptive sont fréquemment minéralisés ou même complétement pseudomorphosés, comme nous le constaterons encore en étudiant le métamorphisme des combustibles qui sont dans les roches trappéennes.

ROCHES FELDSPATHIQUES.

Les roches feldspathiques présentent ordinairement des traces bien évidentes du métamorphisme qu'elles ont éprouvé au contact des laves. § 23.

Quelquefois elles ont pris une structure prismatique. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour le granite de la Roche-Rouge, près du Puy, ou pour le tuf basaltique de la montagne Saint-Michel. *Structure prismatique.*

On a surtout des exemples remarquables de métamorphisme, lorsque les laves traversent ou empâtent des roches granitiques; car alors elles leur donnent souvent une structure celluleuse ou vitreuse et elles peuvent même les amener plus ou moins à l'état de fusion. § 24. *Structure celluleuse ou vitreuse.*

Denise. — Ainsi à Denise, près du Puy, Haute-Loire, une scorie volcanique empâte des lambeaux de granite. La scorie est brun-rouge, et sur certains points on y voit des filaments allongés comme dans la ponce. Le granite est blanc et à demi fondu. Il a pris un aspect

carié. On distingue très-bien ses grains de quartz. Ses parties feldspathiques sont seulement vitrifiées d'une manière incomplète. Les cavités indiquent la place du mica, qui, des minéraux du granite, est celui qui fond le plus facilement.

Jean-Mayen. — Au grand volcan de l'île Jean-Mayen, la lave empâte également des noyaux granitiques. Cette lave est brune scoriacée; elle contient de l'augite et du mica rouge tombac. Sur un même échantillon, on voit des noyaux granitiques qui sont presque entièrement fondus; tandis que d'autres ont bien résisté, et que leur mica est encore reconnaissable.

Chuquet-Génestoux. — Au Chuquet-Génestoux, en Auvergne, une lave scoriacée rouge-marron empâte des blocs d'un granite, à travers lequel elle a fait éruption.

Ce granite a été vitrifié à la surface. Son orthose est opaque et fendillé; il s'est fondu d'une manière inégale, et seulement dans certaines parties, comme s'il avait été soumis à une sorte de liquation; par suite, il a pris un aspect carié. Son mica a une couleur bronzée. Dans les échantillons que j'ai examinés, le quartz n'avait pas été altéré, bien que des veinules de laves y eussent été injectées.

—J'ai fait un essai d'un fragment de granite blanc et très-quartzeux, empâté dans la lave du Chuquet-Génestoux. Ce granite est vitrifié, et ses parties feldspathiques qui sont entrées en fusion viennent former de petites ampoules à sa surface.

La perte par calcination, due à un peu d'eau hygrométrique, est seulement de.... 0,50. Quand on le fait bouillir avec l'acide chrorhydrique, il donne un résidu pesant... 94.35. L'alumine et l'oxyde de fer, précipités par l'ammoniaque, pèsent 4.55.

Le granite, lors même qu'il a été vitrifié par la lave, s'attaque donc très-faiblement par les acides.

Puy-de-Corent. — On trouve souvent du granite empâté dans la lave composant le piton qui surmonte le Puy-de-Corent. Cette lave est gris-brunâtre et scoriacée; elle a dû faire éruption à une température élevée, car elle a fortement corrodé le granite, qui présente la forme de noyaux. Quelquefois même ce granite disparaît presque entièrement dans la lave. Son quartz est toujours le minéral qui a le mieux résisté à la fusion, tandis qu'il s'est produit des cellules partout où il y avait du mica. Lave et Granite.

Vorospatak. — M. Boué a rapporté de son voyage en Transylvanie, un conglomérat trachytique, qui est au voisinage d'un porphyre volcanique à Csetate-Mare, près Vorospatak. Ce conglomérat, dans lequel on distingue de nombreux débris de roches trachytiques, ainsi que des grains de quartz, est celluleux et boursouflé. Sa perte au feu est de... 1,30. Il renferme seulement une trace de carbonate. Le ciment qui réunit ses différentes parties est ponceux. On observe souvent des conglomérats semblables en Hongrie, en Sardaigne et dans toutes les régions volcaniques qui renferment du trachyte, du rétinite, de la ponce. Tous leurs caractères sont ceux d'une roche qui aurait été agglutinée et boursouflée par l'action de la chaleur. Roche volcanique et Conglomérat trachytique.

Puy-de-Chopine. — Le Puy-de-Chopine, en Auvergne, offre encore un très-bel exemple de l'altération des roches feldspathiques par les laves. En effet, d'après MM. Lecocq et Bouillet, il est formé par un domite, surmonté de diverses roches, qu'il a plus ou moins modifiées (Pl. IV, *fig.* 5). Ce domite contient du mica, de l'amphibole, du sphène : dans certaines par- § 25. *Fer oligiste. Vapeurs acides.* Domite et Eurite.

ties il devient celluleux, et il porte les traces les plus évidentes d'une origine ignée (1).

Parmi les roches du sommet, on trouve de l'eurite, de la diorite et un poudingue. Toutes ces roches ont subi l'action du feu. J'ai examiné spécialement l'eurite qui est sur le flanc sud-est du Puy-de Chopine, près du contact avec le domite. Elle est légèrement rugueuse, et à la loupe on y distingue de petites cellules. Elle renferme du feldspath et du mica. Sa couleur est grise. Sa densité est.... 2,60. Quand on la calcine, elle éprouve une perte de 1 p. 100. Elle ne change d'ailleurs pas d'aspect, mais les parties de la roche qui sont noirâtres et caverneuses se frittent assez facilement.

Sur d'autres points du Puy-de-Chopine, l'eurite porte des traces encore plus visibles d'altération. Elle se divise en fragments polyédriques, et quelquefois même elle est scorifiée. Ses fissures sont souvent tapissées de cristaux de fer oligiste. Elle est ordinairement rouge; dans certaines parties elle est blanchâtre, alors elle a été attaquée et décolorée par des vapeurs acides. On comprend d'ailleurs qu'elle était dans des circonstances très-favorables pour un métamorphisme, puisque, recouvrant une roche éruptive, elle devait être imprégnée par toutes les matières gazeuses qui s'en dégageaient.

— Dans toute l'Auvergne, on rencontre fréquemment du granite, du gneiss, du porphyre, enveloppés par des laves. Tantôt l'altération est celle qui résulterait d'une simple calcination; tantôt, au contraire, les minéraux les plus fusibles de la roche empâtée ont disparu. Quelquefois même la roche tout entière a été fon-

(1) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes*, etc., p. 88.

due, et elle ne présente plus qu'un nodule méconnaissable.

En résumé, les phénomènes qui se produisent au contact des laves et des roches feldspathiques résultent immédiatement d'une action ignée. § 26. *Résumé. Laves et Roches feldspathiques.*

Déjà Saussure et Faujas de Saint-Fond avaient fait remarquer que le granite empâté dans les laves se comporte absolument comme celui qu'on soumet artificiellement à une forte chaleur. Chauffé à la température des fours de verrerie, le granite prend en effet le même aspect que lorsqu'il a été très-fortement altéré par les laves. A cette température le mica et le feldspath se ramollissent ou bien même se fondent; les parties quartzeuses résistent seules, en sorte que la roche paraît être cariée (1).

Indépendamment de ce que les roches feldspathiques entrent partiellement ou complétement en fusion au contact des laves, elles peuvent aussi être imprégnées par le fer oligiste et par les produits sublimés des volcans. De même que les autres roches voisines des laves, elles sont quelquefois attaquées par des vapeurs acides.

ROCHES CALCAIRES.

Le calcaire, au contact des laves, a généralement été métamorphosé; cependant, il est des circonstances dans lesquelles il n'a pas subi d'altération. § 27.

Ce fait bizarre avait déjà frappé l'attention de Saussure. « Dans le Vicentin, dit-il, la pierre calcaire qui *Altération nulle ou très-faible.*

---

(1) Faujas de Saint-Fond. *Minéralogie des volcans*, p. 105. — Delesse. *Recherches sur les verres provenant de la fusion des roches*. (Bulletin de la soc. géol., 2e série, t. V, p. 1380).

» se trouve au contact des laves a bien un peu souffert ; » mais c'est seulement dans quelques endroits, tandis » qu'ailleurs elle n'est pas altérée (1). »

§ 28. *Structure cristalline.* Toutefois, le plus souvent le calcaire au contact des laves prend une structure cristalline. Il devient plus ou moins grenu ; il peut même se changer en calcaire saccharoïde ou en marbre.

Ce métamorphisme résulte de l'action de la chaleur combinée avec la pression. Il a été reproduit dans le laboratoire, et il est complétement connu depuis les belles expériences de sir James Hall, Bucholtz, Cassola, Haussmann et Faraday. Je ne m'arrêterai pas plus longtemps sur ce sujet ; j'observerai seulement que le calcaire peut prendre la structure cristalline et saccharoïde sous une pression et sous une température peu élevées. On ne doit d'ailleurs pas en être surpris ; car ne voit-on pas les stalactites et les couches calcaires les plus récentes devenir, sinon saccharoïdes, au moins lamelleuses et cristallines, sans aucune intervention de la chaleur ?

§ 29. *Prédazzite.* On trouve quelquefois sur les flancs du Vésuve une roche assez remarquable qui a d'abord été signalée par Klaproth. C'est un calcaire grenu et gris bleuâtre. Quand on le calcine, il donne une eau légèrement ammoniacale. Il contient aussi un peu de chlore et d'acide phosphorique. M. Roth, qui en a fait récemment l'analyse, a montré qu'il a la même composition que la prédazzite, et qu'il renferme environ un atome de carbonate de chaux et un atome d'hydrate de magnésie ($CaO, CO^2 + MgO, HO$) (2).

---

(1) Faujas de Saint-Fond. *Minéralogie des volcans*, p. 172.

(2) *Zeitschrift des deutschen geologischen Gesellschaft.* 1851, p. 140.

D'après M. Damour, la prédazzite ne constitue pas une espèce minérale, et on doit la regarder comme un simple mélange de carbonate de chaux avec de l'hydrate de magnésie. Je remarquerai toutefois que ce mélange présente des caractères assez constants; de plus, il s'est formé près du Vésuve, et aussi près du mélaphyre, dans le Tyrol : la prédazzite peut donc être considérée comme une roche.

Elle s'observe près du contact des roches volcaniques et trappéennes.

Son gisement montre bien qu'elle a une origine métamorphique ; mais sa composition paraît indiquer une action aqueuse combinée à l'action ignée.

§ 30. *Silicates et Minéraux divers.*

Lorsque des roches calcaires et marneuses sont métamorphosées au voisinage des laves, elles peuvent donner lieu à des réactions très-complexes. Il se produit alors des minéraux très-variés et surtout des silicates contenant de l'alumine, de l'oxyde de fer, de la chaux, de la magnésie. Les blocs calcaires de la Somma nous offrent un exemple remarquable de ce métamorphisme. J'ai étudié antérieurement le calcaire saccharoïde de la Somma, et les nombreux minéraux qu'il renferme (1) ; je me contenterai donc d'observer ici que ce calcaire présente tous les caractères du calcaire saccharoïde produit par le métamorphisme normal : il est vraisemblable, d'après cela, que la chaleur a joué dans sa formation un rôle moins important que ne semble l'indiquer son voisinage du Vésuve; c'est ce que montrera la suite de ce mémoire.

§ 31. *Résumé. Laves et Calcaires.*

En résumé, lorsque la roche éruptive est une lave, le calcaire a généralement été métamorphosé.

Le plus souvent il a pris la structure cristalline, et il

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. IX, p. 126.

est devenu saccharoïde. Certaines roches calcaires, vraisemblablement magnésiennes, paraissent avoir donné lieu à la prédazzite, qui est un mélange de carbonate de chaux avec de l'hydrate de magnésie. Cette prédazzite s'est formée aussi près du contact du mélaphyre.

Quand le calcaire, devenu saccharoïde, était marneux, il s'y est développé des minéraux variés, tels que le grenat, l'idocrase l'épidote, le pyroxène, l'amphibole, le mica, le feldspath, etc., qu'on trouve en si grande abondance à la Somma.

ROCHES SILICEUSES.

§ 32. *Structure fendillée et corrodée.*

Quand une roche siliceuse est empâtée dans une lave, elle se comporte à peu près comme le granite, mais elle résiste beaucoup mieux que lui à l'action de la chaleur.

Trachyte et Quartz.

Siebengebirge. — Le trachyte du Siebengebirge, sur le Rhin, renferme accidentellement des fragments de quartz. D'après M. de Dechen, ces fragments, qui ont une longueur de quelques centimètres, ont ordinairement conservé des angles vifs. Ils sont brillants et transparents. De nombreuses fissures les traversent, et quelquefois même ils se divisent en petits grains. Ils sont d'ailleurs fortement soudés à la pâte qui les enveloppe (1).

Lave et Quartz.

Roderberg. — La lave du Roderberg renferme de même des cailloux de quartz. M. G. Bischof a observé que ce quartz est fondu seulement à sa surface ; la partie qui a été vitrifiée est d'ailleurs très-mince, et elle peut ne pas dépasser l'épaisseur d'une feuille de papier (2).

(1) *Geognostiche Beschreibung der Siebengebirges am Rhein*, p. 85.
(2) G. Bischof. *Lehrbuch der Geologie*, II, p. 757.

Auvergne et Catalogne. — Les laves des volcans d'Olot, en Catalogne, et surtout celles des volcans d'Auvergne, empâtent très-fréquemment du quartz. *Laves et Quartz.*

On en trouve notamment aux Puys de Pariou et de la Nugère. Ce quartz est devenu blanc et opaque. Il est fissuré dans tous les sens, et il s'égrène facilement. On voit de suite qu'il a été soumis à une forte chaleur; cependant il n'a pas été fondu, car j'ai constaté qu'il ne s'attaque pas lorsqu'on le fait bouillir avec une dissolution concentrée de potasse. On comprend d'ailleurs que quand la lave possède une température assez élevée pour fondre le quartz ou seulement pour le ramollir, il ne forme plus un nodule isolé, et il disparaît nécessairement dans la pâte.

— En résumé, les roches siliceuses empâtées dans les laves conservent souvent leurs angles vifs; mais elles sont opaques et très-fendillées. Elles peuvent aussi être plus ou moins corrodées à leur surface. Quelquefois même elles sont complétement dissoutes. § 33. *Résumé. Laves et Roches siliceuses.*

ROCHES ARGILEUSES.

Lorsque des roches argileuses ont été empâtées par des laves, elles ont éprouvé un métamorphisme qui s'explique très-bien par l'action de la chaleur. § 34.

Les laves de l'Auvergne et des bords du Rhin contiennent assez souvent des fragments de schiste argileux. Ce schiste n'a pas subi d'autres changements que ceux qui résultent d'une forte calcination. Souvent, il a pris une couleur rouge brique. Lorsque la température était très-élevée, sa structure est devenue vitreuse. *Structure celluleuse ou vitreuse.* *Laves et Roches argileuses.*

Il importe d'ailleurs de remarquer, avec M. G. Bischof, que les effets de la chaleur sont très-limités; car un échantillon de schiste peut être complétement

vitrifié à la surface, bien que son intérieur soit à peine altéré (1).

Quelquefois il s'est dégagé des gaz de l'intérieur du fragment empâté, qui est devenu celluleux. Ainsi on trouve dans le trachyte du Siebengebirge des fragments arrondis de grauwake argileuse, qui sont celluleux près de leurs bords (2).

Lave et Porcelaine. Si l'on considère maintenant des produits de l'industrie humaine, lors même qu'ils sont très-réfractaires, comme la faïence et la porcelaine, ils sont quelquefois vitrifiés ou même complétement fondus. C'est ce qu'on a observé au Vésuve, lors de l'éruption de Torre del Greco, en 1794. La lave de cette éruption a d'ailleurs changé en oxydes les ustensiles en fer et cuivre qu'elle a empâtés.

Trachyte et Tuf trachytique. **Ile Ponce.** — Poulett Scrope a observé dans l'île Ponce un filon de trachyte qui traverse un tuf trachytique. A son contact et jusqu'à une distance de 10 mètres, ce tuf a été changé en une sorte de retinite, vert foncé, qui contient des cristaux de feldspath et du mica. A mesure qu'on s'éloigne du filon, la roche métamorphique devient vert jaunâtre et passe à un tuf trachytique friable et terreux (3).

Si cette roche métamorphique est bien un rétinite, elle contient de l'eau, et alors on aurait dans ce gisement un exemple d'une fusion aqueuse produite par une roche volcanique.

§ 25. *Résumé. Laves et Roches argileuses.* — En résumé, lorsque les laves sont en contact avec les roches argileuses, elles leur font subir une calcina-

---

(1) G. Bischof. *Lehrbuch der Geologie,* II, p. 757.

(2) H. von Dechen. *Geognostiche Beschreibung des Siebengebirges am Rhein*, p. 85.

(3) Poulett Scrope. *Trans. of the geol. soc.*, 2ᵉ s., t. II, p. 205.

tion plus ou moins forte. Elles leur donnent une structure lithoïde, vitreuse et celluleuse. Dans certains cas, elles peuvent même les dissoudre.

Toutes les roches en contact avec les laves sont d'ailleurs sujettes à être pénétrées par les laves elles-mêmes, et surtout par les produits qui accompagnent leurs éruptions. Ces produits sont tantôt volatils, tantôt formés par sublimation. Les plus fréquents sont le fer oligiste, différents sels et même les zéolithes.

§ 36. *Métamorphisme produit par les laves dans lequel intervient l'action de l'eau.*

Il est facile de comprendre que les laves ont dû donner lieu à des dégagements de gaz et de vapeur d'eau qui provenaient, soit de leur intérieur, soit de l'action de la chaleur sur les roches qu'elles traversaient. A une certaine distance du contact, et par l'intermédiaire de l'eau qu'elles contenaient ou qu'elles ont fait vaporiser, les laves ont donc opéré un métamorphisme important. Mais il est cependant limité à une zone dans laquelle ce n'est plus la chaleur qui joue le rôle principal. De plus, comme il est surtout caractérisé par la formation de zéolithes, il ne diffère pas du métamorphisme qu'on observe au contact des roches volcaniques hydratées ; en conséquence, il est préférable de réunir son étude à celle du métamorphisme produit par les roches trappéennes.

II. ROCHES TRAPPÉENNES.

Je vais maintenant m'occuper du métamorphisme exercé par les roches trappéennes sur les minerais, les combustibles, les roches feldspathiques, les roches calcaires, siliceuses et argileuses.

MINERAIS.

§ 37. *Altération nulle ou très-faible.*

Les minerais, surtout les minerais de fer, présentent quelquefois des traces assez nettes de métamorphisme.

Cependant les roches trappéennes peuvent aussi traverser des gites métallifères sans leur faire éprouver aucune altération.

Basalte et Sulfures métalliques.

Il importe de signaler d'abord cette absence de métamorphisme ; car elle n'est pas moins intéressante que le métamorphisme lui-même.

Carlsseegen. — Ainsi, à la mine Carlsseegen en Allemagne, un filon de basalte coupe un filon métallifère qui s'épate vers son contact (Pl. IV, *fig.* 2).

Le basalte a plus de $0^m,65$ de puissance. Il est en partie lithoïde, en partie argileux et décomposé.

Le filon métallifère de Carlsseegen a une puissance de $0^m,30$ à $1^m,30$. Il est formé de galène massive avec un peu de blende et de pyrite de cuivre (1). Ces circonstances sembleraient très-favorables à un métamorphisme des sulfures métalliques par le basalte ; cependant l'observation montre qu'ils n'ont pas été altérés. Il est donc visible qu'à Carlsseegen la pyrite, la galène, la blende n'ont pas été soumises à une température élevée près de leur contact avec le basalte.

Basalte et Fer spathique.

Horhausen. — Dans le pays de Siegen, à Horhausen, à la mine Louise, le basalte empâte des fragments de fer carbonaté spathique. Or ce minerai a bien pris une couleur noirâtre; mais il conservé sa structure lamelleuse et son éclat. De plus, on y distingue encore de petites veines de quartz qui s'observent dans le minerai normal. Enfin, ce qui est plus remarquable, il n'a pas perdu son acide carbonique (2).

Cependant il n'en est pas toujours ainsi, et au contact de roches trappéennes le carbonate de fer peut

---

(1) Marenbach. *Karsten und von Dechen Archiv.*, t. XXII, p. 203.

(2) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 236.

très-bien être métamorphosé en oxyde. En voici quelques exemples :

Meissner. — Au mont Meissner, l'argile associée aux lignites renferme des rognons de fer carbonaté lithoïde (Pl. IV, *fig.* 7). D'après M. Haussmann, lorsque ce fer carbonaté se trouve à une petite distance du basalte, il a été changé en oxyde de fer rouge et argileux. De plus, il a pris une structure bacillaire, et ses rognons sont radiés du centre à la circonférence (1).

§ 38. *Carbonate de fer changé en oxyde.* Basalte et Fer carbonaté lithoïde.

Brassac. — A Brassac, un trapp micacé, qui est une variété de kersantite et dont la description sera donnée plus loin, a changé de même en oxyde rouge le fer carbonaté lithoïde du terrain houiller (2).

Kersantite et Fer carbonaté lithoïde.

Dudley. — A Barrow-Hill, dans le bassin houiller de Dudley, le trapp a également modifié les couches de minerais de fer (3).

§ 39. *Oxyde, Hydroxyde et Carbonate de fer changés en Oxyde magnétique.* Basalte et Minerais de fer.

Siegen. — Le pays de Siegen offre surtout quelques gisements classiques, dans lesquels il est facile d'étudier l'action exercée par le basalte sur les minerais de fer.

Ainsi, à la mine Alte Birke, on voit très-bien un filon de basalte qui coupe à plusieurs reprises un filon de fer carbonaté spathique. J'ai eu l'occasion de visiter cette mine, qui est bien connue par les recherches d'Ullmann, de Léonhard, de Schmidt, de Noggerath, et surtout par celles de M. G. Bischof (4).

---

(1) Haussmann. *Minéralogie*, t. II, p. 1258.

(2) Note communiqué par M. Dorlhac.

(3) Sir Roderick Murchison. *Silurian system*, p. 487.

(4) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, I, p. 451, et II, p. 237. — Bischof. *Lehrbuch der Geognosie*, p. 795. — F.-W.-E. Schmidt. *Karsten und von Dechen Archiv.*, t. XXII, p. 103. — Nöggerath. *Gebirge in Rheinlande Westphalen*, t. I, p. 116.

Basalte. — Le basalte d'Altebirke forme un filon dont la puissance, généralement comprise entre $0^m,30$ et $0^m,80$, peut quelquefois dépasser 2 mètres. Il est en grande partie altéré et à l'état argileux (*Wakenthon*). Sur ses bords, il présente, quand il est décomposé, une salebande ayant environ $0^m,20$: elle consiste en oxyde de fer impur ayant une couleur brune ou rouge (*Rother Eisenopal, Jaspisartige Eisenstein*) (Pl. IV, *fig.* 1). Une petite veine noire de pyrolusite (*Schwarzer Eisenopal*) est quelquefois interposée entre le basalte et l'oxyde de fer : elle est surtout bien visible à Strakebirke, dans la partie de la mine qui est représentée par la *fig.* 1.

Le basalte d'Altebirke renferme du péridot, de la pyrite de fer, du fer arsenical. D'après l'analyse qu'en a faite M. Bischof, il contient environ 22 p. 100 de fer carbonaté (*sphærosiderite*). Enfin il s'y trouve aussi plus de 7 p. 100 d'une matière organique très-riche en carbone. Cette matière organique est en si grande quantité qu'il me semble nécessaire d'admettre qu'elle est originaire dans le basalte. Sa présence n'a d'ailleurs rien qui doive surprendre, car beaucoup de roches trappéennes renferment aussi des matières organiques et bitumineuses : je citerai spécialement le trapp du nord-est de l'Irlande et de la Chaussée des Géants, dans lequel une matière organique noire est si abondante qu'elle tapisse souvent les cavités des amygdaloïdes.

Minerai de fer. — Le minerai de fer présente des filons irréguliers qui originairement consistaient sans doute en fer carbonaté. Il est en partie décomposé, surtout vers sa surface. Il s'est alors changé en hydroxyde de fer brun, qui est caverneux comme la meulière. On y trouve aussi du fer oligiste.

Près du contact du basalte avec le fer spathique, avec l'oxyde ou avec l'hydroxyde de fer, il s'est produit un

oxyde de fer noir, terreux, qui est attirable à l'aimant, mais qui ne présente cependant pas les caractères habituels de l'oxyde magnétique.

Quand le minerai est du fer spathique, il a généralement été altéré jusqu'à une distance de $0^m,30$. Alors on distingue encore très-bien dans l'oxyde magnétique les veines de quartz, qui traversaient le fer spathique : ce quartz est seulement devenu friable. L'oxyde magnétique forme d'ailleurs une couche mince. au delà de laquelle vient un fer carbonaté noir, à demi altéré, mais encore spathique; puis on trouve le fer spathique à l'état naturel.

Les oxydes de fer sont beaucoup moins métamorphosés que le carbonate.

Ainsi, quand le basalte traverse l'oxyde brun, l'oxyde magnétique s'observe assez irrégulièrement, et seulement contre les parois du filon. Il remplit des espèces de nids.

Enfin, quand le minerai est du fer oligiste, il paraît encore avoir mieux résisté; car l'oxyde magnétique ne forme jamais qu'un léger enduit à sa surface.

L'étude de plusieurs gisements montre que le fer oxydulé magnétique est susceptible de se produire par voie humide; or il me paraît que la formation de cet oxyde magnétique près du contact du filon peut s'expliquer par une action de la matière organique renfermée dans le basalte; car cette matière a dû se répandre facilement dans la roche encaissante; elle s'y est même volatisé, si l'on admet l'intervention de la chaleur : il est donc facile de comprendre qu'elle ait réduit le minerai de fer et qu'elle l'ait changé en oxyde magnétique.

En résumé, le métamorphisme opéré par les roches trappéennes dans les minerais n'indique pas nécessairement une action ignée proprement dite. Il est possible § 40. *Résumé. Roches trappéennes et Minerais.*

que dans certains cas la chaleur ait été suffisante pour décomposer le carbonate de fer ; mais j'ai constaté qu'il suffit pour cela d'une température bien inférieure à celle qui est nécessaire pour décomposer le carbonate de chaux (1). On sait d'ailleurs que le carbonate de fer se décompose encore très-facilement, soit par l'air atmosphérique, soit par l'infiltration, et que le plus souvent même il se trouve altéré dans la nature.

COMBUSTIBLES.

§ 41. Les combustibles sont assez souvent en contact avec des roches trappéennes. Comme leur composition est simple et n'a aucun rapport avec celle de ces roches, l'étude du métamorphisme y est par cela même assez facile.

Ils sont connus sous quatre états qui correspondent à différents degrés d'un métamorphisme normal ; l'on y distingue, en effet, le graphite, l'anthracite, la houille, le lignite.

Structure prismatique.

Je vais considérer les combustibles sous chacun de ces états, et rechercher quelles modifications ils ont éprouvées au contact des roches trappéennes.

Il est un cas spécialement dans lequel ces modifications ne peuvent être attribuées qu'à la roche trapéenne ; c'est lorsque les combustibles présentent la structure prismatique à son contact ; or, on verra que cette structure s'observe non-seulement dans le lignite et dans la houille, mais aussi dans l'anthracite et même dans le graphite.

Je m'attacherai donc surtout à apprécier les modifications subies par chacun de ces combustibles, lorsqu'il aura pris la structure prismatique.

(1) *Annales des Mines*, 5ᵉ s., t. X. Sur la pierre ollaire, p. 339.

A. Graphite.

§ 42.

Graphite dans le Trapp.

Les combustibles peuvent se changer en graphite, lorsqu'ils sont au contact de roches trappéennes, ou bien lorsqu'ils y sont empâtés.

Borrowdale. — Ainsi, dans le célèbre gisement de Borrowdale dans le Cumberland, le graphite forme des amas dans un trapp qui traverse le schiste argileux.

Ce graphite est très-pur, ce qui est assez remarquable puisqu'il est empâté dans un trapp. Il contient... 96 p. 100 de carbone, ... 2,5 de matières volatiles, et seulement ... 0,5 d'oxyde de fer. On sait qu'il est d'excellente qualité et qu'on l'exploite pour la fabrication des crayons. Le graphite en masse, quel que soit son gisement, contient généralement une proportion beaucoup plus grande de matières terreuses.

Graphite prismatique et imprégné d'hydroxyde de fer, ainsi que de matières terreuses.

Trapp et Houille anthraciteuse.

New-Cumnock. — Le terrain houiller de l'Écosse renferme dans ses assises inférieures de l'anthracite et quelquefois même du graphite. En effet, dans le comté d'Ayr, à quatre milles de New-Cumnock, on trouve du graphite, et son étude est d'autant plus intéressante, qu'il provient d'un métamorphisme produit sur la houille par le trapp.

M. Boué a décrit avec soin ce gisement (1). Le graphite est tantôt écailleux, tantôt grenu. Il est d'assez mauvaise qualité, mais il fait cependant l'objet d'une exploitation. Il se rencontre dans la sixième couche de combustible, à partir de la surface. Il a une épaisseur de 1 à 2 mètres. Il passe à l'anthracite et même à la houille. Il est immédiatement compris entre deux couches de trapp.

Le trapp inférieur présente une veine mince; quant au trapp supérieur, son épaisseur est au plus de $0^{m},30$;

(1) Boué. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 172 et 470 à 471.

il renferme des concrétions verdâtres, de la stilbite, de la chaux carbonatée.

Des fragments de graphite y sont aussi disséminés.

Le graphite de New-Cumnock devient prismatique au contact du trapp. M. Ch. d'Orbigny ayant eu l'obligeance de mettre à ma disposition un échantillon de ce graphite provenant de la collection d'Écosse, déposée au Muséum par M. Boué, je l'ai soumis à quelques essais.

Trapp. — Le trapp qui se trouve au contact de ce graphite prismatique est vert-noirâtre très-tendre, à structure indiscernable. Il fait une légère effervescence dans l'acide chlorhydrique et il s'y décolore assez facilement.

Graphite. — Le graphite prismatique forme de petits prismes ayant moins de 1 centimètre de section, qui sont perpendiculaires à la surface de contact.

Il donne sur le papier un trait semblable à celui du crayon. Sa densité est de... 2,155; elle est assez élevée, ce qui tient à ce qu'il renferme plus de 40 p. 100 de matières terreuses. On y trouve aussi beaucoup d'eau, car il n'y en a pas moins de 8 p. 100. Quand il a été calciné, il prend une couleur brune, et l'on reconnaît qu'il est très-impur. Comme d'habitude, il est mélangé à de l'oxyde de fer. Si, après calcination, on le fait bouillir dans l'acide chlorhydrique, les matières qu'il contient s'attaquent très-fortement; le résidu qui est formé de graphite et de matière non attaquée pèse 78,67. De l'oxyde de fer, de l'alumine, de la magnésie, un peu de chaux et seulement une trace d'alcalis sont entrés en dissolution. Les matières terreuses mélangées à ce graphite n'étant pas complétement décomposées par l'acide, je les ai attaquées par le carbonate de soude.

Graphite prismatique de New-Cumnock.

Carbone		49,41
Eau		8,00
Cendres : 42,59.	Silice	19,23
	Oxyde de fer et Alumine	19,60
	Chaux	1,76
	Magnésie et Alcalis (diff.)	2.00
	Somme	100,00

Quoique le graphite soit toujours mélangé à de la gangue, il m'a paru que le graphite prismatique de New-Cumnock était de plus fortement imprégné de matières terreuses. D'abord, la plus grande partie du fer s'y trouve à l'état d'hydroxyde; en outre, on y voit une argile ferrugineuse, verdâtre, translucide, et douce au toucher. Cette argile ressemble à l'érinite de Thomson, qui est une espèce de bol et qui provient de la décomposition de diverses roches trappéennes. Comme elle ne renferme pas moins de 25 p. 100 d'eau, on comprend d'ailleurs pourquoi l'on trouve une aussi grande quantité d'eau dans le graphite prismatique de New-Cumnock.

B. Anthracite.

§ 43. *Anthracite prismatique et celluleux imprégné d'hydroxyde de fer, de carbonates spathiques et de matières terreuses.*

Au contact des roches trappéennes, la houille et le lignite se changent le plus souvent en anthracite.

New-Cumnock.— Le gisement de New-Cumnock, qui vient d'être décrit, va nous en offrir un premier exemple. En effet, M. Boué a constaté qu'au contact du trapp les couches inférieures du terrain houiller sont métamorphosées en anthracite, qui est même prismatique.

Trapp et Houille.

Cet anthracite se divise en prismes à six pans qui sont perpendiculaires au trapp et qui ont d'assez grandes dimensions. Entre ces prismes on distingue de l'hydroxyde de fer et accidentellement un peu de chaux carbonatée blanche et spathique.

Sa structure n'est pas compacte et uniforme comme

celle qui est habituelle à l'anthracite ; il est au contraire grenu et de plus légèrement celluleux.

L'existence de ces cellules est très-importante à constater, car elle démontre un dégagement subit de matières volatiles dans le combustible; or on ne peut l'attribuer qu'à la chaleur provenant de l'éruption du trapp qui a dû être suffisante pour transformer d'abord le combustible en une espèce de coke. D'un autre côté, comme l'anthracite reste compacte quand on le calcine, la formation des cellules a nécessairement précédé la métamorphose de la houille en anthracite ou en graphite.

La couleur de l'anthracite de New-Cumnock est noir-grisâtre. Sa cassure est terne. Par le frottement il prend l'éclat métallique. Il tache les doigts et il laisse une empreinte sur le papier : il peut devenir grenu ou même lamelleux, et alors il passe tout à fait au graphite.

La densité de l'anthracite est habituellement comprise entre 1, 3 et 1, 8; on peut voir que celle de l'anthracite de New-Cumnock est très-élevée; cela tient à ce qu'il est déjà plus ou moins changé en graphite et aussi à ce qu'il renferme une assez grande proportion de matières terreuses.

Quand on le calcine, il décrépite; il perd de l'eau et un peu de matière bitumineuse. Il prend alors une couleur noire, uniforme et un éclat plus métallique. Après calcination il s'écrase avec quelque difficulté. Son grillage est extrêmement long, il laisse pour résidu une cendre formée par une matière argileuse, brun-rougeâtre, très-légère, qui fond difficilement en donnant une scorie fortement colorée par le fer.

J'ai examiné deux échantillons de cet anthracite prismatique.

I. Anthracite celluleux.
II. Anthracite celluleux, grenu et passant au graphite.

Anthracite prismatique de New-Cumnock.

	I.	II.
Densité	1,880	1,914
Carbone	85,92	76,89
Eau et matières volatiles	5,55	4,38
Cendres	8,53	18,73
Somme	100,00	100,00

Il importe de remarquer que l'anthracite prismatique contient encore de l'eau et même une trace de matière bitumineuse; que, de plus, sa proportion de cendres est beaucoup plus grande que celle qui est habituelle à l'anthracite. Comme d'ailleurs l'échantillon dans lequel la proportion de cendres est la plus forte, passe déjà au graphite; il est très-probable qu'il se trouvait au contact immédiat du trapp.

Il m'a paru intéressant de rechercher la composition de la cendre de cet anthracite prismatique. Un essai par le carbonate de soude m'a donné :

Cendre de l'Anthracite II *de New-Cumnock.*

Silice	10,10
Alumine	5,10
Chaux	4,10
Magnésie	5,00
Oxyde de fer avec un peu d'oxyde de manganèse	77,00
Somme	101,30

Il est visible que l'anthracite graphiteux de New-Cumnock est essentiellement imprégné d'hydroxyde de fer. Il renferme aussi une proportion notable d'oxyde de manganèse. D'un autre côté, on y trouve un hydrosilicate qui n'est pas simplement de l'argile, car il contient une proportion très-notable de chaux et de magnésie. La proportion de silice est au contraire très-faible.

Basalte et Houille.

Puy-Saint-Gulmier. — Le Puy-Saint-Gulmier près de Pontaumur, en Auvergne, est une montagne basaltique qui a relevé sur ses flancs un lambeau de terrain houiller (1). De l'anthracite est intercalé entre les grès et les schistes de ce terrain : il est probable qu'il provient d'une houille modifiée au voisinage du basalte ; en tout cas, il a été métamorphosé.

Cet anthracite est brillant, il tache les doigts et de plus il est écailleux ou lamelleux comme le graphite.

Il est très-lourd, difficile à briser, ce qui tient à ce qu'il est très-impur. On y observe de petites tubulures cylindriques qui sont creuses vers leur centre. Elles sont en partie formées d'hydroxyde de fer brun qui résulte sans doute d'une infiltration.

L'anthracite du Puy-Saint-Gulmier ne dégage pas de matière bitumineuse. Il ne se brûle qu'avec la plus grande difficulté. Sa perte au feu s'élève à..... 24,4. Si elle est aussi grande, cela tient à ce que sa proportion de cendres est elle-même très-considérable, car j'ai constaté qu'elle peut dépasser 50 p. o/o. On sait d'ailleurs que l'anthracite retient toujours lui-même une proportion assez forte d'eau hygrométrique.

Trapp et Lignite.

Omenak. — Il existe au Groënland plusieurs gisements dans lesquels les combustibles ont été métamorphosés par les roches trappéennes. J'ai examiné quelques-uns de ces combustibles qui ont été recueillis par M. de Chancourtois pendant le voyage qu'il a fait avec S. A. I. le prince Napoléon.

A Omenak, de l'anthracite qui provient du métamorphisme d'un lignite, se trouve près d'un trapp amygdaloïde.

---

(1) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes du Puy-de-Dôme*, p. 87. Échantillon n° XC.

Cet anthracite se divise en petits fragments irréguliers. Il est traversé par une multitude de fissures qui ont été remplies par un carbonate spathique.

Ce carbonate contient de la chaux, de la magnésie, un peu de fer et de manganèse. Il fait une effervescence lente dans l'acide. Il prend une couleur brune quand il est calciné. Il forme des réseaux très-complexes qui pénètrent l'anthracite, lui donnent une grande cohésion et le rendent difficile à écraser.

L'anthracite d'Omenak a une couleur gris-noirâtre; son éclat est terne. Calciné dans le tube fermé, il donne de l'eau qui est très-légèrement colorée en jaune par des matières bitumineuses. Son coke est noir, compacte, très-brillant, non boursouflé. Ses cendres sont blanches, abondantes et volumineuses; et elles consistent pour la plus grande partie en carbonate; ce carbonate est d'ailleurs mélangé à une matière argileuse, gris jaunâtre, pulvérulente et très-légère.

Anthracite d'Omenak.

Carbone			50,64
Eau et trace de matières bitumineuses.			15,60
Carbonate	de chaux	18,43	26,73
	de magnésie	6,27	
	de fer	2,03	
Argile			7,03
Somme			100,00

Ainsi le lignite d'Omenak changé en anthracite au contact du trapp est devenu très-impur et tout à fait impropre à la combustion. Il a été fortement imprégné de carbonate à base de chaux, de magnésie et de fer; il en renferme même plus du quart de son poids. Ce carbonate est à l'état spathique comme dans les filons : par conséquent les minéraux des filons se sont quelquefois

formés dans les combustibles métamorphosés au contact d'une roche éruptive. J'aurai encore l'occasion de signaler le même fait dans d'autres gisements.

§ 44.. *C.* Houille.

Les combustibles qui contiennent encore des matières bitumineuses, comme la houille et le lignite, ont le plus généralement été métamorphosés au contact des roches trappéennes. Dans certaines circonstances cependant ils n'ont pas été altérés.

C'est ce qui paraît avoir eu lieu à l'extrémité septentrionale du bassin de Commentry. Car un dyke de porphyre contenant du mica, comme le porphyre de Brassac, coupe la houille qui n'est pas altérée à son contact et qui est restée flambante (1).

Houille prismatique. La houille peut d'ailleurs conserver ses matières volatiles, quand bien même elle a pris la structure prismatique. En voici un exemple :

Spitzberg. — J'ai examiné une houille à structure prismatique qui provenait de la collection de l'École des Mines. Son étiquette indique qu'elle a été recueillie au Spitzberg. Elle est en prismes friables un peu courbes, ayant plusieurs centimètres de longueur. Sa couleur est noire et terne. Calcinée, elle a dégagé des gaz qui ont brûlé en donnant une flamme peu éclairante. Le coke n'a pas fondu. Sa cendre est gris rougeâtre. Elle ne contient pas de carbonate. Elle est surtout formée d'oxyde de fer mélangé à un peu d'argile. Un essai que j'ai fait avec M. Brivet m'a donné les résultats suivants :

(1) Boulanger. *Statistique géologique de l'Allier*, p. 87.

Houille du Spitzberg.

Carbone			64,25
Matières volatiles			27,80
Cendres. .	7,95	Silice	0.93
		Oxyde de fer et Alumine	1,95
		Chaux	2,92
		Magnésie et perte	1,80
		Acide sulfurique	0,35
		Somme	100,00

Cette houille du Spitzberg renferme peu de cendres. Elle a été très-légèrement imprégnée de sulfate de chaux. La roche éruptive qui l'a métamorphosée n'est pas connue, non plus que le combustible duquel elle provient.

Quoi qu'il en soit, on voit qu'un combustible à structure prismatique peut renfermer des matières bitumineuses volatiles. De plus, la proportion de matières minérales qui l'imprègne est quelquefois très-faible. Ces résultats seront encore confirmés par les recherches qui vont suivre.

— Lorsque la houille s'est trouvée au contact de roches trappéennes, indépendamment de ce qu'elle est devenue prismatique, elle a encore subi d'autres altérations. En effet, elle a été changée tantôt en anthracite ou même en graphite, tantôt en coke.

Ces deux métamorphoses sont bien distinctes; elles correspondent sans doute à différents modes d'action de la roche éruptive. La formation du coke indique d'ailleurs d'une manière incontestable l'action de la chaleur.

Houille changée en anthracite et en graphite.

Le métamorphisme de la houille en anthracite et en graphite est évident d'après ce qui a été dit précédemment. Ces trois combustibles peuvent même se trouver réunis dans le même gisement. Le graphite s'est produit au contact immédiat du trapp ou dans le trapp

même, là par conséquent où le métamorphisme devait être le plus intense.

Houille et anthracite dans une roche trappéenne.

Il ne faut pas croire cependant qu'une roche trappéenne, lorsqu'elle empâte un combustible, le change nécessairement en graphite. Ce combustible peut très-bien rester à l'état d'anthracite ou de houille. J'en citerai un exemple remarquable observé par M. Ville aux environs de Dellys en Algérie (1).

Dellys. — En effet, le trapp de Dellys enveloppe des fragments anguleux de combustible qui ont une longueur variable et une épaisseur maximum de 4 centimètres. Ces fragments qui constituent le seul gisement de houille connu jusqu'à présent en Algérie, me paraissent provenir d'un peu de lignite intercalé dans le trapp et métamorphosé par lui.

Trapp. — Le trapp est vert noirâtre, et il a une structure légèrement celluleuse. Il renferme du pyroxène vert en cristaux très-nombreux, qui atteignent jusqu'à 1 centimètre. On y distingue aussi des nodules serpentineux de couleur vert brunâtre qui sont facilement rayés par l'ongle, et qui proviennent d'une pseudomorphose. Ce trapp ne contient pas de carbonates. Par calcination, il perd 5,6 pour 100 d'eau. Chauffé au rouge, il fond en une scorie noire et bulleuse.

Combustible. — Le combustible, enveloppé dans le basalte, n'y est cependant pas adhérent. Dans certains cas, il est comme rongé sur la surface qui est en contact avec le trapp et il en résulte un charbon rugueux et moiré. Il est formé le plus souvent par une houille (I) qui est grasse, compacte, veinée et d'un noir éclatant.

(1) Compte rendu des travaux du laboratoire du service des mines de la province d'Alger pendant l'année 1856, et collections envoyées par M. Ville.

Quelquefois aussi il passe à une houille très-sèche ou bien même à l'anthracite (II).

L'essai de ces deux variétés de combustibles empâtés dans le basalte a été fait par M. de Marigny :

	I. *Houille.*	II. *Anthracite.*
Densité	1,33	1,18
Carbone	61,00	79,30
Matières volatiles et Eau	33,50	15,44
Cendres	5,70	5,26
	100,00	100,00

Les cendres sont formées d'argile ainsi que de carbonate de chaux et d'un peu de sulfate de chaux. Leur proportion peut descendre à 1 p. 100. Bien qu'il soit empâté dans une roche trappéenne, le combustible de Dellys ne contient donc, comme le graphite de Borrowdale, qu'une petite quantité de matières étrangères. Mais il n'en est pas toujours ainsi, surtout lorsque des végétaux isolés sont empâtés dans les roches trappéennes; alors des matières terreuses les imprègnent souvent, et ils peuvent même être complétement pseudomorphosés.

Je ferai surtout remarquer que le combustible empâté par le trapp de Dellys n'a pas été métamorphosé en coke ou en charbon comme cela aurait eu lieu au contact de laves. Il s'est simplement changé en houille plus ou moins sèche, absolument comme les couches de végétaux fossiles qu'on trouve dans le terrain houiller. Il donne encore à la distillation des matières bitumineuses et ammoniacales. La chaleur a donc bien pu contribuer à produire cette houille; mais cette chaleur était certainement faible, puisqu'il ne s'est pas formé de coke : il est même très-probable qu'elle n'a pas été supérieure à celle qui a été subie par tous les terrains stratifiés dans lesquels il y a de l'anthracite.

§ 45. *Coke.* — Il importe cependant d'observer que l'action des roches trappéennes sur les combustibles a généralement été accompagnée de chaleur. C'est ce que l'on peut surtout constater très-facilement, lorsque ces roches sont en contact avec la houille. En effet, très-souvent la houille est devenue prismatique. Elle est irisée, comme celle qui se produit dans les incendies des houillères. Elle a perdu tout ou partie de ses matières bitumineuses; elle est devenue impropre à la combustion. Elle a été changée, tantôt en un charbon dur, tantôt en un charbon terreux, pulvérulent et terne, qu'on a comparé à de la suie. Enfin elle a même été métamorphosée en coke.

La plupart de ces métamorphoses indiquent assurément une intervention de la chaleur; mais on peut cependant se demander, si cette chaleur était aussi grande qu'on l'admet généralement, et si les roches trappéennes qui ont produit ces métamorphoses étaient véritablement à l'état de fusion ignée?

L'étude seule des faits va répondre immédiatement à cette question.

En Angleterre où la houille est fréquemment traversée par des trapps, les phénomènes qui se sont produits au contact des deux roches ont été observés depuis longtemps et même ils sont mis à profit par les mineurs.

Ils ont été décrits dans divers mémoires de MM. Sedgwick, Murchison, Henslow. Je vais les résumer ici et et en même temps je donnerai les résultats des recherches que j'ai entreprises sur le coke naturel formé par les roches trappéennes.

Houille changée en coke et plus ou moins imprégnée de matières terreuses.

Cockfield Fell. — Dans le comté de Durham, à Cockfield Fell, la houille est à l'état normal à une distance de 30 mètres d'un filon de trapp; mais à mesure qu'on se rapproche de ce filon on observe que la houille

est altérée ; elle devient pulvérulente comme du fraisil et elle prend tous les caractères du coke (1).

Ballycastle. — A Ballycastle, en Irlande, une houille bitumineuse est traversée par des filons de trapp. Près du contact, cette houille a perdu son bitume, elle est devenue poreuse et elle s'est changée en coke. En même temps l'argile qui est au contact du trapp a été convertie en jaspe (2). **Trapp et Houille.**

Nouvelle Galles du Sud. — Dans la Nouvelle Galles du Sud, près de la rivière du Chien, M. Dana a constaté qu'un filon de basalte ayant $2^{m},60$ d'épaisseur a changé de la houille en coke jusqu'à plus de 2 mètres (3). **Basalte et Houille.**

Anglesey. — Dans l'île d'Anglesey, à Llanfihangel, près du contact avec la dolérite, la houille a pris une structure prismatique. Dans d'autres endroits elle est boursouflée et changée en coke : jusqu'à une certaine distance, elle est d'ailleurs devenue incombustible (4). **Dolérite et Houille.**

Birchhill. — A Birchhill (Straffordshire) dans le voisinage de la dolérite, la houille est irisée et possède un éclat métallique ; en outre elle est dure, sèche et elle a perdu ses matières bitumineuses (5) **Dolérite et Houille.**

Salcoats. — A Salcoats (Ayrshire), la houille est altérée par le trapp qui l'a rendue tout à fait incombustible. **Trapp et Houille.**

Newcastle-upon-Tyne. — Le bassin houiller de Newcastle-upon-Tyne présente encore plusieurs faits du même genre. **Trapp et Houille.**

---

(1) Sedgwick. *Cambridge Transactions*, t. II, p. 37.

(2) Portlock. *Report on the geology of the country of Londonderry*, etc., 226. — J. Bryce. *Geological notice of the environs of Belfast.*

(3) Dana. *The American Journal of science*, t. LXV, p. 115.

(4) Henslow. *Transactions of the Cambridge Phil. soc.*, t. I, 2e partie, p. 145.

(5) Von Leonhard : *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 371.

Dans le voisinage des filons de trapp de Newcastle, la houille devient prismatique; quelquefois elle a l'aspect du coke. Elle est imprégnée d'oxyde de fer qui la colore en rouge. De la chaux carbonatée, de la pyrite de fer et quelquefois des efflorescences salines s'observent dans ses cavités. Il y a notamment un sous-sulfate de peroxyde de fer qui est de couleur jaune et que l'on a pris pour du soufre.

Dans d'autres circonstances, la houille se divise à l'air en une multitude de petits fragments, ou bien même elle est tout à fait terreuse par suite d'un mélange avec des substances étrangères; elle est alors de qualité trop inférieure pour être exploitée (1).

M. E. de Beaumont a bien voulu mettre à ma disposition plusieurs échantillons qu'il a recueillis aux environs de Newcastle dans l'un de ses voyages en Angleterre : ils m'ont permis d'étudier avec précision le métamorphisme qui a été exercé par le trapp sur la houille, lorsqu'il l'a changée en coke naturel.

C'est à Coaley Hill, à 4 milles à l'ouest de Newcastle que ce métamorphisme s'observe le mieux (2). Le dyke de trapp n'a pas moins de 8 mètres de puissance et à son contact la houille est convertie en coke.

Coke. — Ce coke diffère beaucoup de celui qui est fabriqué artificiellement; car, au lieu d'être brillant il est terne; de plus, ses cellules sont petites, irrégulières et peu nombreuses. Sa couleur est noire ou grise tirant sur le brun, et même il devient brun jaunâtre dans les parties exposées à l'air : il est visible qu'il est fortement imprégné d'hydroxyde de fer. Sa structure est prisma-

(1) Sedgwick. *On the phenomena connected with some trapp dykes in Yorkshire and Durham.* — Von Leonhard. *Die Basaltgebilde.* — Boué. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 369.

(2) *Voyage métallurgique en Angleterre*, t. I, p. 66.

tique. Il est dur, pierreux, et très-difficile à pulvériser : sous le pilon il se réduit en petits grains. De la pyrite de fer s'y trouve disséminée. Sa densité est beaucoup plus grande que celle du coke ordinaire : elle est d'autant plus grande qu'il renferme plus de cendres.

De même que la houille chauffée par les incendies souterrains, il décrépite fortement par la chaleur. Quand on le met en digestion avec de la benzine, il ne la colore pas d'une manière sensible. Sa combustion est très-difficile. Il donne une cendre rouge qui renferme de l'oxyde de fer et dans laquelle il n'y a pas de carbonate.

Deux échantillons de coke naturel et prismatique des environs de Newcastle ont été examinés :

I. Coke de Wallbottle près de Newcastle. Il se trouve au contact immédiat d'un dyke de trapp décomposé et argileux ; calcinée, la salebande de ce dyke fond en un verre noirâtre et elle perd 12,3 p. 100.

II. Coke des environs de Newcastle, qui a été pris environ à $0^{m},1$ du trapp.

Coke naturel de Newcastle.

	I.	II.
Densité	1,745	1,400
Carbone	77,68	82,35
Eau et matières volatiles	7,50	12,50
Cendres	14,82	5.15
Somme	100,00	100,00

Un essai des cendres provenant du coke (I) de Wallbottle a été fait par le carbonate de soude ; il a donné :

Cendres du coke (I).

	Pour 100.	Pour 14,82.
Silice	14,09	2,09
Alumine	9,81	1,45
Chaux	traces.	traces.
Magnésie	5,62	0,83
Oxyde de fer avec un peu de maganèse	70.10	10,40
Somme	99,67	14,77

La cendre du coke naturel (I) est presque entièrement composée d'oxyde de fer; car lorsqu'on la fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique, elle donne un résidu argileux insoluble qui pèse seulement... 0,64.

Comme à New-Cumnock, indépendamment de l'oxyde de fer, il y a dans la cendre de l'oxyde de manganèse et aussi de la magnésie.

On voit d'ailleurs que le coke naturel de Newcastle renferme beaucoup plus de cendres que le coke artificiel. Sa quantité de cendres augmente avec sa densité; elle est la plus grande au contact immédiat du trapp, et elle diminue rapidement lorsqu'on s'en éloigne. Il contient beaucoup d'oxyde de fer. Il contient, en outre, plusieurs centièmes de magnésie et du manganèse.

En résumé, le coke naturel de Newcastle qui s'est formé au contact du trapp a surtout été imprégné par de l'hydroxyde de fer. Il renferme aussi un hydrosilicate d'alumine et de magnésie qui paraît être une argile ferrugineuse et magnésienne. On se rappelle du reste que le graphite et l'anthracite prismatiques ont également été imprégnés par de l'hydroxyde de fer et par de l'argile (§ 42 et 43).

§ 46. *Houille changée en coke, associée aux minéraux des filons.*

— Il arrive quelquefois que le combustible au contact d'une roche trappéenne est associé aux minéraux qui constituent la gangue des filons métallifères. Ces minéraux sont le quartz, les carbonates, la baryte sulfatée. D'après les recherches de M. de Senarmont ils ont une origine aqueuse et ils ont été déposés par des eaux thermales. Les gisements de combustibles dans lesquels on les rencontre sont assez exceptionnels, mais ils méritent cependant d'être étudiés avec quelque soin, car ils peuvent jeter du jour sur les conditions dans lesquelles a eu lieu le métamorphisme des combustibles.

Barrow-Hill. — Déjà, j'ai fait remarquer que l'anthracite d'Omenak est pénétré par un carbonate spathique à base de chaux, de magnésie et de fer, comme on en trouve dans les filons.

A la colline de Barrow-Hill, près de Dudley, sir Roderick Murchison a observé une particularité analogue (1).

La colline presque tout entière est formée par un dyke puissant de trapp qui pénètre et disloque le terrain houiller (Pl. IV, *fig.* 8) Au contact du trapp et même jusqu'à une distance de plusieurs mètres, la houille a été changée en une sorte de coke noir ou grisâtre. Ce coke laisse en brûlant une cendre rougeâtre, abondante et il ne dégage que peu de chaleur.

La houille elle-même est de mauvaise qualité dans tout le voisinage de la colline.

Ainsi à Barrow-Hill, la houille a été changée en coke naturel et de plus elle a été imprégnée de matières terreuses qui la rendent impropre à la combustion. C'est conforme aux observations précédentes; mais ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est que la chaux carbonatée, le quartz et la baryte sulfatée, c'est-à-dire les minéraux des filons ont rempli les cavités qui se trouvaient à proximité du trapp.

Brassac. — Le terrain houiller de Brassac nous présente encore la même particularité : on y observe, en effet, les minéraux des filons jusque dans le coke naturel; il importe, par conséquent, d'étudier ce gisement d'une manière spéciale.

On sait qu'à Brassac un porphyre a pénétré dans le terrain houiller et qu'il y forme tantôt des nappes pa-

---

(1) Sir Roderick Murchison. *Silurian system*, p. 497.

rallèles aux couches, tantôt, au contraire, des filons qui coupent la houille (1). Dans ce dernier cas, il a fait éprouver à la houille une altération bien évidente, et il l'a changée en un coke naturel qui est fortement imprégné de substances minérales.

Je m'occuperai spécialement du métamorphisme produit par un filon de ce porphyre qui est presque vertical et qui a $1^{m},30$ d'épaisseur.

Kersantite. — Je remarque d'abord que le porphyre de Brassac appartient à la variété que j'ai proposé de nommer *kersantite* (2). Il est à base de feldspath anorthose, ou du sixième système, et quelquefois il contient beaucoup de mica ferromagnésien. Du quartz s'y trouve disséminé, ainsi que de petits nodules de chaux carbonatée blanche. Il est beaucoup plus dur et plus tenace que le kersanton; cependant il s'écrase un peu sous le marteau. Il a d'ailleurs une couleur noire ou vert noirâtre. Sa perte au feu est de... 5,30; il contient... 0,75 d'acide carbonique. Le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique pèse après calcination... 70,23; il s'attaque donc faiblement par l'acide.

Houille. — J'ai examiné un échantillon de la houille de Brassac, qui provenait de la concession Fondary. C'était une houille grasse de bonne qualité. Elle avait une belle couleur noire. Chauffée à une température inférieure à celle du rouge sombre, elle a immédiatement dégagé une longue flamme; en même temps, elle s'est boursouflée fortement, et elle a donné un coke très-léger ayant un vif éclat métallique. Sa perte a été de

---

(1) Baudin. *Bassin houiller de Brassac.* — Dufrénoy et E. de Beaumont : *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 648.

(2) *Annales des mines.*

23 p. 100. D'après M. Berthier, cette houille contient environ 7 p. 100 de cendres (1).

Coke. — Au voisinage du dyke, la houille a été altérée et près de son contact elle a même été changée en coke naturel.

Au contact immédiat, ce coke se divise en prismes assez irréguliers. Il présente une multitude de petites cellules réparties d'une manière inégale. Il est terne, dur et très-pierreux. Sa densité s'élève à... 2,069; elle est plus grande que celle du coke fabriqué dans les usines. Il est donc évident, par cela seul, que le coke de Brassac a été fortement imprégné par des substances minérales. En l'examinant de plus près, j'ai constaté d'ailleurs qu'il renferme de l'hydroxyde de fer, et, ce qui est plus remarquable, de la baryte sulfatée, qui, sur certains points, se montre en cristaux cretés, groupés en étoile.

Dans le tube fermé, le coke de Brassac dégage beaucoup d'eau, mais pas une trace de matière bitumineuse. Il se grille difficilement, et il donne une cendre brune, riche en oxyde de fer. Cette cendre se décolore par l'acide chlorhydrique; sa composition a été déterminée par une attaque spéciale au carbonate de soude.

Coke naturel de Brassac.

Carbone		44,42
Eau et matières volatiles		19,25
Cendres : 36,33	Silice	17,02
	Alumine	3,30
	Chaux, Magnésie (diff.)	0,11
	Oxyde de fer	15,90
	Somme	100,00

Le coke naturel de Brassac dont je viens de donner

(1) Berthier. *Traité des essais par la voie sèche*, t. I, p. 331.

la composition se trouve au contact immédiat du dyke : c'est ce qui explique pourquoi il est aussi fortement imprégné de substances minérales. A une petite distance, il devient plus léger, moins pierreux, et il est visible qu'il en renferme beaucoup moins. Au contact immédiat, la proportion de cendres est cinq fois celle que donne un même poids de houille de Brassac. Les substances qui l'ont imprégné sont l'hydroxyde de fer et probablement aussi la silice à l'état de quartz. Sur certains points, il y a de plus de la baryte sulfatée.

Il importe de remarquer que le coke naturel de Brassac ressemble complétement à celui de Newcastle (page 141) ; par conséquent la kersantite, qui est un porphyre micacé, agit sur la houille de la même manière que le basalte et que le porphyre pyroxénique. Il est naturel d'en conclure que la kersantite a la même origine que ces roches.

— La formation de cellules dans la houille et son changement en coke, indiquent bien un dégagement de matières bitumineuses et même une intervention subite de la chaleur ; mais, d'un autre côté, le coke naturel n'a jamais l'éclat métallique et les larges cellules du coke artificiel : il peut aussi retenir des matières bitumineuses et volatiles. En outre, il est imprégné par de l'hydroxyde de fer, de l'argile, quelquefois par de la baryte sulfatée, et par les minéraux de filons, qui ont évidemment une origine aqueuse ; par conséquent, il est certain que la houille a été pénétrée par des eaux chargées de substances minérales.

Il me paraît d'ailleurs vraisemblable que des eaux thermales accompagnant la roche trappéenne ont contribué à chauffer la houille de Brassac ou de Barrow-Hill, et peut-être même l'ont-elles métamorphosée en coke : en tout cas, ce sont ces eaux qui ont formé les minéraux

des filons qu'on observe dans les roches voisines du contact et jusque dans le coke naturel lui-même.

D. LIGNITE.

Lorsque les roches trappéennes sont en contact avec le lignite, elles le métamorphosent à peu près de la même manière que la houille. On comprend; en effet, que le lignite puisse être changé en houille, en anthracite ou même en graphite. Dans d'autres circonstances, au contraire, il est métamorphosé en coke. § 17.

Souvent aussi il est resté à l'état de lignite et il n'est pas ou presque pas altéré; c'est ce qui a lieu quelquefois, quand bien même il a pris la structure prismatique.

Je cite d'abord des exemples dans lesquels son altération est nulle ou au moins très-faible.

Lignite non altéré.

Trapp et Lignite.

Chaussée des Géants. — En Irlande, vers la partie supérieure de la célèbre Chaussée des Géants, on observe une couche de lignite qui est immédiatement recouverte par du trapp.

Ce trapp est bien caractérisé et se délite en sphéroïdes : il forme visiblement une nappe qui s'est répandue par-dessus le lignite (Pl. IV, *fig.* 6).

Le lignite appartient probablement au terrain tertiaire supérieur (1). Il a une épaisseur assez irrégulière, qui, au point où je l'ai recueilli, est comprise entre $0^m,1$ et $0^m,2$. Il repose sur une argile gris bleuâtre intercalée comme lui entre les puissantes nappes de trapp qui composent la Chaussée des Géants. Il présente quelquefois des veines qui se bifurquent au milieu de l'argile.

Sa couleur est brun noirâtre et sa structure très-compacte; mais lorsqu'on l'examine au microscope,

---

(1) Sir Ch. Lyell. *Manuel de géologie élémentaire*, 1856, t. I, p. 288.

on y reconnaît encore la structure des conifères qui l'ont engendré (1). On y trouve de la pyrite de fer, ainsi que de petits cristaux de gypse. Par calcination, il perd la moitié de son poids, et il donne un coke noir, très-brillant, qui a subi un retrait considérable. Son grillage produit une cendre brune essentiellement formée par une argile ressemblant à celle sur laquelle repose la couche de lignite.

J'ai constaté que plus des deux tiers de cette cendre s'attaquent par l'acide chlorhydrique; car elle laisse seulement un résidu de 5,86 : la liqueur acide contient d'ailleurs de l'alumine, de l'oxyde de fer et très-peu de chaux.

Lignite de la Chaussée des Géants.

Carbone	32,78
Matières volatiles	50,10
Cendres	17,12
Somme	100,00

Il est facile de comprendre que le lignite de la Chaussée des Géants, qui a conservé la structure du bois, qui contient de l'eau et des matières bitumineuses, et qui éprouve au feu une perte de la moitié de son poids, n'a jamais été soumis à une température élevée. On s'en rend surtout bien compte par le retrait considérable qu'il subit dans la calcination. Par conséquent, la nappe de trapp n'était pas incandescente et à l'état de fusion ignée, lorsqu'elle s'est répandue sur ce lignite.

Roche volcanique et Surturbrandur.

Islande. — Le lignite d'Islande auquel on donne le nom de *surturbrandur* se trouve à peu près dans les mêmes conditions de gisement que celui de la Chaussée

(1) Duke of Argyle, *Quaterly geol. Journal* 1851, p. 90. — R. Harkness et de Blyth. *Edimburg Journal* 1856, t. VI, 304 à 312.

des Géants. A Virki, il forme, en effet, des couches qui sont recouvertes par des alternances de basalte, de tufs métamorphiques et de lave. J'ai examiné un échantillon de ce lignite provenant de la collection donnée à l'École des Mines par M. E. Robert. Il a une couleur noir brunâtre, et l'on y distingue très-bien la structure du bois. Il paraît très-pur, et il est probable qu'il contient peu de cendres. Il est sonore, dense et très-compacte, comme s'il avait été soumis à une forte compression. Quand on le calcine, il donne un coke noir à éclat métallique qui est légèrement agglutiné. Sa perte au feu est de... 48,83; elle est due au dégagement de l'eau et des matières bitumineuses.

Ainsi, bien que le lignite (*surturbrandur*) d'Islande soit intercalé dans des tufs volcaniques métamorphiques ayant une structure prismatique et pseudorégulière, il renferme encore une proportion de substances volatiles qui est aussi grande que celle du lignite ordinaire.

Lignite prismatique. Trapp et Lignite.

— Au voisinage des roches trappéennes, le lignite est souvent devenu prismatique. L'altération qu'il a subie peut alors être très-grande. Quelquefois, au contraire, elle est à peine sensible : c'est ce dernier cas qui se présente dans le gisement d'Amitsorsak au Groenland.

Amitsorsak. — Dans le district d'Upernivik, à Amitsorsak, un lignite prismatique se trouve près de trapps avec amygdaloïdes.

J'ai examiné ce lignite mis à ma disposition par M. de Chancourtois. Il se divise en petits prismes qui ont seulement 1 ou 2 millimètres de côté; toutefois, à l'intérieur des échantillons, ces prismes sont seulement indiqués par de légères fissures symétriques, et même le lignite finit par devenir tout à fait compacte. Sa couleur

est noire, un peu terne. Son éclat est résineux, et il ressemble au *pechkohle* des minéralogistes allemands; cependant les fibres du bois se distinguent encore dans certaines parties. Quand on le calcine, il dégage beaucoup de matières bitumineuses qui entrent en combustion; il donne un coke noir, fendillé, ligniforme. Le résidu qu'il laisse par le grillage est une cendre brune presque entièrement formée d'oxyde de fer mélangé à un peu d'argile : par conséquent on retrouve de l'oxyde de fer dans ce lignite, comme dans la plupart des combustibles métamorphosés par les trapps.

Lignite prismatique d'Amitsorsak.

Carbone.	42,44
Matières volatiles.	47,60
Oxyde de fer et un peu d'argile.	9,96
Somme.	100,00

Cet essai montre que le lignite prismatique d'Amitsorsak renferme encore autant de matières volatiles que le lignite ordinaire. On voit donc bien qu'un combustible prismatique n'a pas nécessairement été soumis à une température élevée.

J'observerai, du reste, que le lignite et la houille deviennent quelquefois prismatiques par des retraits symétriques résultant d'une simple dessiccation à l'air.

Meissner. — Le mont Meissner, devenu si célèbre par les discussions des Neptunistes et des Vulcanistes, nous montre un métamorphisme très-remarquable, qui est produit dans le lignite par une roche trappéenne. M. de Léonhard a donné une description complète de ce gisement classique que j'ai eu moi-même l'occasion de visiter (1). La *fig.* 7, Pl. IV, représente une coupe faite de

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 286.

l'est à l'ouest dans le mont Meissner. La base de la montagne est formée par le grès bigarré *s* et par le muschelkalk *c*. Sur ces terrains repose, en stratification discordante, le terrain tertiaire dans lequel on exploite le lignite. Il présente à sa partie inférieure une couche d'argile calcaire *a*; puis vient un sable quartzeux blanc *e*, dont l'épaisseur est inférieure à un mètre. L'étage du lignite *l* lui est superposé, et par dessus se trouve constamment une argile plastique *a'*, qui forme une couche dont l'épaisseur varie de 0m,15 à 1m,70. Enfin le tout est recouvert par un énorme amas de roches basaltiques *t*, dont l'épaisseur atteint près de 200 mètres. On y remarque notamment une dolerite grise, bien cristalline, qui a été analysée par M. Bergemann. Il importe d'observer qu'elle renferme au moins 1,7 d'eau, et plus de 11 p. 100 d'un carbonate à base de fer.

Revenons au lignite qui doit seul nous occuper ici.

Sa puissance est considérable et varie de 6 à 30 mètres. Dans sa partie supérieure il a subi des métamorphoses qui sont de plus en plus faibles, à mesure qu'on s'éloigne du basalte; et à une certaine distance il est d'ailleurs à l'état normal. Ses métamorphoses ont été étudiées depuis longtemps par MM. Mitscherlich et de Léonhard.

Lignite changé en anthracite. Basalte et Lignite.

Anthracite. — Le lignite le plus rapproché du basalte est devenu prismatique, de même que l'argile *a'* qui le recouvre. Ses prismes sont perpendiculaires au basalte, et ils se continuent de l'argile dans le lignite.

Sur une épaisseur d'environ 0m,60, le lignite a été changé en une sorte d'anthracite bacillaire (*stangenkohle*). Sa densité est... 1,391. Cet anthracite conserve la même forme, quand on le chauffe, et il ne dégage pas de matière bitumineuse. Il laisse 16,9 d'une cendre pesante et fortement colorée par de l'oxyde de

fer. Cet oxyde de fer est d'ailleurs limité à la zone changée en anthracite et même à la partie de cette zone, qui est la plus rapprochée du contact.

Lignite changé en houille. Basalte et Lignite.

Houille. — A l'anthracite prismatique succède une zone d'épaisseur variable, qui est formée par de la houille (*glanzkohle*). Sa densité est... 1,359. Elle ne s'agglutine pas par la chaleur, et elle dégage d'autant moins de bitume qu'elle est plus rapprochée de l'anthracite. Elle brûle difficilement en laissant 4.3 d'une cendre blanche et légère.

Lignite changé en jayet. Basalte et Lignite.

Jayet. — Au-dessous de la houille vient une zone de jayet (*pechkohle*). Son épaisseur ne dépasse guère 0m,50 et elle peut être beaucoup plus petite. Ce lignite ressemble à de la poix ; il a une couleur noire éclatante, et il est bien compacte. Sa densité est... 1,297. Il s'agglutine et se boursoufle fortement par l'action de la chaleur; en même temps, il dégage beaucoup de matières bitumineuses. Il laisse 3,5 d'une cendre blanche et légère.

Lignite normal. — Enfin, au-dessous de ce jayet, on trouve le lignite à peu près normal. Il forme toute la partie inférieure de l'étage, et son épaisseur peut s'élever jusqu'à près de 20 mètres. Il n'est pas brisé ou fissuré comme les combustibles qui le recouvrent. Sa couleur est noirâtre dans le voisinage du jayet, mais elle devient brune un peu plus bas ; de plus, on y distingue très-bien les fibres du bois. Sa densité est en moyenne... 1,248. Il contient d'ailleurs une forte proportion de matière bitumineuse.

Récemment, M. Kuhnert a fait des analyses complètes du lignite, ainsi que de l'anthracite du mont Meissner (1).

---

(1) *Annalen der Chemie und der Pharm.*, t. XXXVII, p. 67.

	Meissner.	
	Anthracite prismatique.	*Lignite (Jayet).*
Carbone	70,12	56,60
Hydrogène	3,19	4,75
Oxygène	7,59	27,15
Eau dégagée à 100°	3,63	9,07
Cendres	15,47	2,43
Somme	100,00	100,00

D'après les recherches précédentes, il est facile de se rendre compte du métamorphisme produit dans le lignite par le basalte du Meissner.

Ce lignite a pris la structure prismatique dans la partie la plus rapprochée du basalte. Il a été changé en anthracite, en houille, puis en jayet ou en lignite compacte; plus loin, il est resté à l'état normal. La densité des divers combustibles qui se sont formés diminue à mesure qu'on s'éloigne du basalte. La proportion d'oxygène, d'hydrogène, d'eau et de matières bitumineuses va au contraire en augmentant.

Il importe de remarquer que l'anthracite prismatique renferme une quantité de cendres cinq fois plus grande que celle du lignite. Mais cette quantité est bien supérieure à celle qui correspond à sa teneur en carbone; il faut donc nécessairement admettre que l'anthracite a été imprégné de matières terreuses.

Dans ce métamorphisme du Meissner, nous trouvons encore des faits qui semblent difficiles à expliquer par l'action de la chaleur seule. Et d'abord, n'est-il pas très-bizarre que, malgré l'interposition d'un écran d'argile ayant plus d'un mètre, le lignite ait été métamorphosé et imprégné de matières terreuses, absolument comme les combustibles qui sont au contact immédiat du trapp? Cependant je démontrerai que cette argile est fortement hydratée et qu'elle a été peu métamorphosée.

En outre, l'anthracite contient encore de l'eau, des matières volatiles et de l'hydroxyde de fer : par conséquent rien n'indique une température élevée et voisine du rouge. L'absence de coke ou de charbon boursouflé, la structure compacte de tous les combustibles provenant du lignite, démontrent au contraire, ce me semble, que le départ des matières oxygénées et hydrogénées ne résulte pas d'une calcination subite, et qu'il doit plutôt être attribué à une action aqueuse qu'à une action ignée.

Lignite et Bois imprégnés par divers minéraux.

— Le gisement clastique du Meissner nous fournit un bon type du métamorphisme que les roches trappéennes font habituellement subir aux combustibles. Déjà, nous avons pu constater, à plusieurs reprises, combien ce métamorphisme est différent de celui qui est produit par des laves; c'est ce que de nouveaux exemples nous feront encore mieux apprécier, et ils nous montreront aussi que la matière ligneuse peut être partiellement ou complétement remplacée par diverses substances minérales.

Zéolithes. Tuf basaltique et Lignite.

Clermont. — Le tuf basaltique des environs de Clermont, en Auvergne, renferme quelquefois des morceaux de bois; il est alors assez facile d'étudier leur métamorphisme, qui est très-bizarre. J'ai examiné l'un de ces échantillons qui provenait vraisemblablement du Puy de la Piquette, mais dont l'étiquette portait seulement environs de Clermont. Il est représenté par la *fig.* 3, Pl. IV. Le tuf basaltique qui l'enveloppe est extrêmement compacte; cependant on distingue encore bien les débris qui le composent.

Le bois a conservé en partie sa structure, et il appartient à un arbre dicotylédone. Il a d'abord éprouvé un retrait considérable qui est environ du quart de son volume, et le vide laissé autour de lui a été rempli par

une zéolithe. Cette zéolithe appartient à la mésotype. Elle est en fibres blanches, radiées qui divergent généralement d'un centre placé sur la paroi du tuf (*fig.* 3). Indépendamment de ce qu'elle forme une enveloppe blanche et concentrique autour du bois, elle le pénètre aussi de la manière la plus intime.

Quant au bois lui-même, il est à l'état de lignite. En effet, il en a la couleur brun noirâtre, et un essai m'a montré qu'il en a aussi la composition. Lorsqu'on le calcine, il éprouve une perte de 40 p. 100; il dégage alors beaucoup de matières bitumineuses inflammables. Sa cendre est blanche, et elle fait avec l'acide une vive effervescence; elle consiste en un mélange de zéolithe et de carbonate de chaux. Il est bon d'observer cependant que le lignite lui-même fait à peine effervescence, lorsqu'il n'a pas été incinéré; il est donc probable que la chaux est combinée avec un acide organique du lignite, et que c'est seulement dans le grillage qu'elle se change en carbonate de chaux.

Lignite dans un tuf basaltique d'Auvergne.

Carbone		27,60
Matières volatiles et Eau		41,51
Cendres : 30,89	Zéolithe et Carbonate de chaux.	23,27
	Argile	7,62
	Somme	100,00

Ainsi, tandis que le bois enveloppé dans la lave a été carbonisé, celui qui se trouve dans le tuf basaltique a été simplement changé en lignite, et imprégné de zéolithe. On sait d'ailleurs que la métamorphose en lignite est celle que subissent d'abord tous les végétaux enfouis dans le sein de la terre.

Je signalerai d'une manière spéciale l'association du lignite avec les zéolithes; car elle fait bien voir que la formation des zéolithes peut avoir lieu à une tempéra-

ture inférieure à celle qui est nécessaire pour volatiliser les matières bitumineuses du lignite, c'est-à-dire au delà de 200° (§ 8).

— Lorsque du bois a été enveloppé par des roches basaltiques, on vient de voir qu'il contient dans certains cas une grande proportion de matières étrangères; il peut même arriver qu'il ait été complétement métamorphosé par voie de pseudomorphose.

Carbonates. Roche basaltique et Bois.

Ainsi, M. Haidinger a fait connaître un gisement de Bohême, dans lequel des troncs d'arbre qui se trouvent dans une roche basaltique ont été entièrement remplacés par de l'arragonite. Cette dernière s'est ensuite changée en chaux carbonatée.

Conglomérat basaltique et Bois.

Papenberg. — J'ai examiné moi-même un conglomérat basaltique provenant de Papenberg, près Geismar, qui contenait du bois métamorphosé en arragonite.

Conglomérat basaltique. — Ce conglomérat est très-fortement cimenté, mais on y distingue cependant des fragments de différentes roches basaltiques, ainsi que des grains de péridot et de pyroxène. Des parcelles microscopiques de pyrite de fer y sont aussi disséminées. Quelques nodules sont formés par une chaux carbonatée ferrifère; ils proviennent du remplissage de cavités. La roche fait dans l'acide une effervescence d'abord vive, puis lente et prolongée. Elle contient 7,60 d'eau et 12,40 d'acide carbonique; elle est donc complétement imprégnée de carbonates.

Bois. — Le bois est à l'état de ligneux, et il a une couleur brun jaunâtre très-clair. Ses fibres sont encore bien distinctes et des cristaux d'arragonite se sont développés dans le sens de leur longueur. Chauffé au rouge vif, il donne une petite flamme. Quand on le traite par l'acide chlorhydrique, il dégage un peu d'hydrogène sulfuré. Un essai que j'ai fait avec M. Brivet a donné :

Bois de Papenberg.

Carbone	0,82
Résidu argileux	0,69
Carbonate de fer	6,54
Carbonate de magnésie	3,14
Carbonate de chaux (diff.)	86,63
Matières volatiles et Eau	2,18
Somme	100,00

Il est facile de voir que la matière ligneuse a été presque complétement détruite et remplacée par de l'arragonite, ainsi que par du carbonate de fer et de magnésie. Les carbonates sont, du reste, les seules substances minérales qui aient été introduites; ils ont imprégné et cimenté le conglomérat, et en même temps ils se sont substitués au bois.

Silice.
Roche basaltique et Bois.

Hoherseelbachkopf. — Dans le gisement du Hoherseelbachkopf, décrit par M. Noeggerath, des troncs d'arbres ont perdu toute leur matière bitumineuse; ils ont été, soit partiellement, soit complétement, pseudomorphosés en silice (1).

Alunite.
Alunite et Bois.

Hongrie. — Enfin, à Musaj, en Hongrie, des bois ont été pseudomorphosés en silice et en alunite. Ces bois se trouvent au milieu de l'alunite qui forme elle-même des amas dans le porphyre molaire et dans des conglomérats ponceux devenus cristallins (2).

Ces derniers exemples montrent bien que les altérations des combustibles et surtout celles des troncs d'arbre isolés peuvent être fort complexes; car, aux altérations produites par la roche trappéenne lors de l'éruption, viennent encore s'ajouter celles qui résultent de la pénétration postérieure de vapeurs acides ou bien d'eaux chargées de matières minérales et en général

(1) *Annales des Mines*, 3e série, t. XVIII, p. 439.
(2) Beudant: *Voyage en Hongrie*, t. II, p. 295.

des pseudomorphes (1). Il est d'ailleurs très-difficile de tracer une ligne de démarcation entre les pseudomorphoses et les altérations dues à l'action directe de la roche éruptive. Aussi MM. Dana et Bischof réunissent-ils l'étude des pseudomorphes à celle du métamorphisme.

§ 48. *Coke et Charbon.* — Le lignite en contact avec les roches trappéennes se métamorphose généralement en houille, en anthracite, ou même en graphite; mais il peut aussi se métamorphoser en coke. *Coke.* C'est ce que l'on observe au Habichtwald, *Basalte et Lignite.* dans la Hesse; car le basalte change le lignite en coke bien caractérisé ayant même la structure prismatique.

Au Ziegenberg, également dans la Hesse, le même lignite est devenu pulvérulent, et il ressemble à de la suie, comme cela a lieu pour la houille en contact avec le trapp dans quelques houillères de l'Angleterre (2). Il est visible que la métamorphose en coke s'est opérée dans les mêmes circonstances pour le lignite que pour la houille.

Charbon. — Le bois enveloppé dans les roches trappéennes peut aussi être converti en une sorte de charbon. Alors il a subi un métamorphisme tout différent de celui qui donne le lignite; mais, quand bien même sa couleur est noirâtre, il éprouve généralement une perte au feu qui est beaucoup plus grande que celle du charbon artificiel.

Basalte et Bois. **Puy de la Piquette.** — Le bois carbonisé a été signalé dans la péperite du Puy de la Piquette, où il se trouve au voisinage du basalte (3) (Pl. IV, *fig.* 4).

Trass et Bois. **Andernach.** — Je citerai encore comme exemple le

---

(1) Bischof. *Lehrbuch der Geologie* et *Jahresbericht* von J. Liebig und Hermann Kopp, 1853, p. 916.

(2) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 301.

(3) Lecoq et Bouillet. *Vues*, etc., p. 21. — Voir aussi pour le gisement du bois carbonisé de Pranal : Rozet. *Mémoires de la société géologique de France*, 2ᵉ série, t. I, p. 78.

trass d'Andernach, sur les bords du Rhin; car, bien que ce ne soit pas une roche trappéenne, c'est une roche volcanique hydratée. On sait, en effet, que le trass est une sorte de lave boueuse (1). Les analyses de cette roche, qui ont été faites par MM. Elsner et Illgner, montrent qu'elle contient environ 49 de silice et 8 p. 100 d'eau. Elle renferme des troncs d'arbres dicotylédones qui ont souvent conservé leurs branches et même leurs feuilles. Mais quelquefois aussi ils paraissent partiellement ou même complétement carbonisés.

J'ai examiné une petite branche qui ressemblait à du charbon roux et qui était enveloppée dans le trass. Elle a brûlé avec une flamme vive due à un dégagement de matières combustibles. Sa cendre était blanche, en partie soluble dans l'eau et ne renfermait pas de carbonate.

Bois dans le trass.

Carbone.	45,13
Matières volatiles et Eau	52,75
Cendres.	2,12
Somme.	100,00

Il est visible que si ce bois a été carbonisé, c'est d'une manière très-incomplète, puisqu'il est moins riche en carbone que le lignite.

Herculanum. — Le tuf volcanique qui a englouti Herculanum paraît avoir agi de la même manière que le trass; car l'essai d'un fragment provenant d'une poutre a donné environ 50 p. 100 de charbon (2). **Tuf volcanique et Bois.**

— On sait d'ailleurs que le bois qui est resté pendant plusieurs années dans les mines, se décompose et prend une couleur brun noirâtre. Il m'a paru utile de le com- **Bois décomposé dans les mines.**

(1) Naumann. *Lehrbuch der Geognosie.* — Von Œnyhausen: *Erlauterungen zu der geognostisch-orographisch Charte der Umgebungen der Laacher Sees.* — *Matériaux de construction de l'Exposition universelle*, p. 318.

(2) Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, t. IV, p. 498.

parer au bois enveloppé dans les tufs volcaniques et de rechercher sa proportion de carbone. Or, j'ai trouvé qu'un bois de sapin devenu noirâtre et qui est resté pendant quinze ans dans une plâtrière de Châtillon, en renferme seulement 22 p. 100; par conséquent, sa proportion de carbone est encore bien inférieure à celle du lignite dans lequel elle atteint 50 p. 100.

— On voit que le bois enveloppé dans les roches volcaniques clastiques a quelquefois subi une altération spéciale et qu'il ressemble plus ou moins au charbon. Mais il renferme encore beaucoup de matières volatiles. Il peut même être accompagné par du bois qui est simplement changé en lignite. La carbonisation a donc eu lieu seulement pour certains bois, et, par son irrégularité même, elle semblerait indépendante de la roche éruptive; par suite, il est naturel de se demander, avec Faujas de Saint-Fond, si elle ne doit pas être attribuée à des incendies de forêts qui auraient précédé les éruptions volcaniques?

§ 49. *Résumé.* — *Roches trappéennes et combustibles.*

Résumé.

Lorsque des roches trappéennes sont au contact de combustibles, elles leur ont généralement fait éprouver un métamorphisme.

Quelquefois ce métamorphisme est très-faible ou même nul, c'est ce qui a lieu, par exemple, à la Chaussée des Géants, où la roche trappéenne s'est répandue sous forme de nappe.

Mais généralement le métamorphisme est bien sensible. Il s'étend à une distance plus grande que dans les autres roches; cette distance est assez souvent de plusieurs mètres, et elle atteint même 35 mètres près de Blythe dans le Northumberland. Le métamorphisme est caractérisé, tantôt par la formation d'un combustible plus compacte, tantôt par la formation de coke.

Dans le premier cas, le combustible passe successivement au lignite, à la houille, à l'anthracite et même au graphite. Sa densité augmente, ainsi que sa richesse en carbone.

Dans le deuxième cas, le combustible est soumis à une sorte de carbonisation; il peut devenir celluleux; il perd au moins une partie de ses matières volatiles. Sa richesse en carbone augmente, tandis que sa densité diminue.

Le plus souvent le combustible présente une structure prismatique près du contact. Cette structure s'observe non-seulement dans le lignite et dans la houille, qui renferment des matières bitumineuses, mais encore dans l'anthracite et même dans le graphite.

En outre, le combustible est imprégné de différentes substances minérales; aussi donne-t-il une grande quantité de cendres et devient-il impropre à tout usage. La proportion des cendres va en diminuant très-rapidement à mesure qu'on s'éloigne du contact.

Parmi les substances qui imprègnent le combustible, l'hydroxyde de fer est la plus habituelle. Ensuite vient l'argile qui est quelquefois ferrugineuse ou magnésienne. Accidentellement on trouve des zéolithes et les minéraux des filons. Dans le coke naturel, on a rencontré aussi de la pyrite de fer, du gypse, et différents sels.

Lorsque le combustible est complétement empâté dans une roche trappéenne, il est généralement assez pur. Mais s'il se trouve simplement au contact de la roche trappéenne, il peut être fortement imprégné de substances minérales. Quand il est en fragments dans des roches volcaniques clastiques, il perd quelquefois tout son carbone, qui est alors remplacé par de la silice ou par de la chaux carbonatée.

Tels sont les faits. Voyons maintenant s'il ne serait

pas possible de les expliquer par quelques considérations théoriques.

La structure prismatique, si fréquente dans le combustible métamorphosé, a toujours fixé l'attention d'une manière spéciale ; toutefois, elle me paraît avoir été une cause d'erreur, parce que, la comparant à celle qui s'observe dans la chemise des hauts fourneaux, on a cru y trouver l'indice d'une température très-élevée.

Il est bien certain que cette structure ne saurait être attribuée à la cristallisation, et par conséquent elle résulte de retraits. Mais, si les retraits se forment par la chaleur, ils peuvent se produire aussi par une simple dessiccation. Les roches stratifiées nous en offrent de nombreux exemples ; il me suffira de citer le gypse des environs de Paris, qui dans la haute masse prend une structure prismatique bien prononcée. D'ailleurs une structure prismatique se montre quelquefois dans certains combustibles, lorsque desséchés à l'air, ils perdent une partie de leurs matières volatiles.

Si l'on examine la composition des combustibles à structure prismatique, il est facile de se convaincre qu'ils n'ont pas été soumis à la température rouge. Lorsqu'on les calcine, on les voit en effet changer d'aspect et même prendre des caractères entièrement différents ; ils éprouvent un nouveau retrait beaucoup plus considérable que celui qui les a rendus prismatiques ; ils dégagent encore de l'eau et des matières bitumineuses ou volatiles ; de plus ils passent à l'état de coke. Or, si ce coke eût été produit antérieurement, à cause de l'extrême inaltérabilité du carbone, il eût certainement conservé les caractères qu'il prend par la calcination : c'est, du reste, ce que l'on observe généralement pour les combustibles prismatiques qui ont été métamorphosés en coke naturel.

Quelles sont maintenant les substances minérales qui imprègnent le combustible près du contact? On a vu que les plus fréquentes sont l'hydroxyde de fer et l'argile. Quelquefois aussi on observe des carbonates, du quartz, de la baryte sulfatée et même des zéolithes. Or, tous ces minéraux sont des produits d'infiltration, et ils ont essentiellement une origine aqueuse.

Cependant lorsqu'il y a eu formation de coke naturel, l'intervention de la chaleur est évidente. Mais il ne faudrait pas en conclure que la chaleur était assez grande pour maintenir la roche trappéenne à l'état de fusion ignée. Nous avons vu, en effet, qu'une roche venant de l'intérieur de la terre et d'une profondeur de 13 kilomètres, aurait une température de 400°; elle pourrait donc volatiliser les matières bitumineuses du combustible et par suite le changer en coke naturel (§ 8).

Si la roche éruptive vient d'une moindre profondeur, elle aura cependant une température supérieure à celle des couches qu'elle traversera. Alors, il se produira un flux de chaleur qui se propagera perpendiculairement aux parois du filon et qui donnera au combustible la structure prismatique. En outre, toutes les roches dans le sein de la terre étant plus ou moins aquifères, il se produira aussi un flux d'eau chaude : cette eau, par cela même qu'elle est chaude, tiendra nécessairement en dissolution des substances salines et alcalines, elle pourra donc enlever les matières acides ou bitumineuses du lignite ou de la houille ; par suite elle les transformera en un combustible plus riche en carbone (§ 9).

Il est d'ailleurs facile de comprendre qu'un combustible traversé par une eau chargée de matières minérales peut lui-même s'en imprégner, et par conséquent donner une plus grande proportion de cendres.

Si une température au moins égale à 400° est néces-

saire à la formation du coke naturel, il n'en est pas de même pour la formation du lignite, de la houille, de l'anthracite et peut-être même du graphite. En effet, il importe de remarquer que ces combustibles ne sont pas limités au contact des roches éruptives : ils forment au contraire des couches entières dans lesquelles le métamorphisme a été normal et s'est opéré sur une grande échelle. Le plus souvent on n'observe dans leur voisinage aucune roche ignée ou même éruptive à laquelle on puisse l'attribuer. Dans les Alpes, par exemple, ne voit-on pas un combustible récent, puisqu'il est jurassique, qui a été complétement métamorphosé en anthracite ; et cependant, à son contact, il n'existe aucune roche ignée. Le métamorphisme de cet anthracite a eu lieu en même temps que celui de toutes les couches qui l'environnent ; la chaleur n'y a eu qu'une faible part, et il tient à l'éruption même des Alpes.

Parmi les conclusions que je viens de présenter, il en est plusieurs qui peuvent paraître hasardées, car elles ne ressortent pas toutes immédiatement des faits décrits jusqu'à présent ; mais, la suite de ce mémoire viendra je pense les confirmer.

ROCHES FELDSPATHIQUES.

Les roches trappéennes contenant de l'eau, le métamorphisme qu'elles exercent sur les roches feldspathiques doit nécessairement différer beaucoup de celui des laves.

§ 50. *Altération nulle ou très-faible.* Le plus souvent l'altération est nulle ou très-faible ; c'est d'abord ce que nous allons faire voir en étudiant le contact de différentes roches trappéennes avec des roches feldspathiques.

Trapp et Granite. **Newry.** — Aux environs de Newry, en Irlande, le

granite est traversé par une multitude de filons de trapp. Ces filons s'observent très-bien dans la tranchée du chemin de fer entre Newry et Dundalk. Ils ont une puissance qui varie de quelques décimètres à plusieurs mètres. Leur direction habituelle m'a paru être le nord magnétique, et j'ai constaté que le pendage de plusieurs d'entre eux est dirigé vers l'est.

Trapp. — Le trapp de Newry a une couleur vert noirâtre. Il est très-peu cristallin ; cependant lorsqu'il a été altéré par l'action de l'air, on y distingue bien des lamelles verdâtres de feldspath du sixième système. Quelquefois il devient tendre et comme serpentineux ; généralement alors il est traversé par des veinules de chaux carbonatée. En outre, ses fissures sont souvent tapissées de petits dépôts de matière charbonneuse ; j'ai constaté qu'il en est souvent de même pour les trapps du nord-est de l'Irlande.

Granite. — Le granite de Newry s'exploite sur une grande échelle et on l'exporte au loin, parce qu'il est d'un très-bon emploi dans les constructions. C'est un granite à un mica. Son grain est assez fin et sa couleur est gris bleuâtre. Il est très-riche en feldspath du sixième système. Son mica, qui est ferromagnésien, a une couleur brune ou verte. On trouve du sphène et de l'hornblende dans le granite des carrières qui sont aux environs de Newry.

Ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est que la séparation du trapp et du granite est toujours parfaitement nette et tranchée. Je n'ai observé un passage du trapp au granite que très-exceptionnellement, et seulement sur une épaisseur de 2 centimètres. Nulle part d'ailleurs il n'y a trace d'altération ou de fusion du granite. Il est visible que le mica et les feldspaths du granite n'ont pas été soumis à une forte chaleur,

pas même lorsque le granite est en fragments empâtés dans le trapp. En un mot, le contact des deux roches ne montre aucun indice de métamorphisme qu'on puisse attribuer à une action ignée.

Or nous avons constaté précédemment qu'il en est tout autrement au contact des laves et du granite (§ 24); et, comme on est certain que les laves ont été amenées par la chaleur à l'état de fusion ignée, il faut nécessairement en conclure qu'il n'en est pas de même pour les trapps.

Dans le cours de ce mémoire j'aurai souvent l'occasion de revenir sur l'absence de métamorphisme au contact de roches éruptives. Bien que négatif, ce fait a une très-grande importance, car il démontre que les roches éruptives peuvent devenir entièrement plastiques sans être fondues et même sans le secours de la chaleur.

Nous allons voir que cette remarque s'applique non-seulement aux trapps proprement dits, mais encore aux ophites, aux diorites, aux kersantites et à toutes les roches qui sont à base d'un feldspath du sixième système contenant de l'eau.

Ophite et Granite.

Pouzac. — L'ophite de Pouzac, qui est bien connu par les recherches de l'abbé Palassou, a fait éruption à travers le granite; mais on ne remarque pas qu'il l'ait métamorphosé à son contact.

Diorite et Syénite.

Corravillers. — Dans les Vosges, la syénite des Ballons est quelquefois traversée par des filons de diorite. C'est par exemple ce que l'on observe sur la route de Faucogney au Plain de Corravillers. Or, quand bien même le filon de diorite est puissant, il n'a aucunement altéré la syénite.

Diorite et Granite.

Égypte. — Une diorite noire compacte, en filons dans la syénite rouge d'Égypte, en est séparée d'une manière

nette. Près du contact, on observe bien de l'épidote vert-pistache dans la syénite et aussi dans la diorite. Mais l'épidote est fréquente dans la diorite, et elle se rencontre également dans la syénite; sa présence à la limite de ces deux roches est donc facile à expliquer, et même ici rien n'indique qu'on doive l'attribuer à un métamorphisme de contact.

— Cependant divers minéraux se sont formés dans les roches feldspathiques près de leur contact avec les roches trappéennes et paraissent avoir été introduits par ces dernières. Je signalerai d'abord les carbonates. § 51. *Chaux carbonatée.* Basalte et Granite.

C'est, par exemple, ce que j'ai observé sur un échantillon de l'École des mines qui était indiqué comme provenant de Schneegrube, en Silésie. On y voyait le contact d'un basalte noir foncé avec un granite, et dans une druse de cette dernière roche se montrait de la chaux carbonatée blanche et spathique. La présence de cette chaux carbonatée doit sans doute être attribuée au basalte.

— Il arrive souvent que les nappes trappéennes sont séparées par un dépôt de cailloux roulés, des roches sur lesquelles elles se sont répandues. Les interstices laissés libres entre ces cailloux présentent alors une circonstance très-favorable à la formation de minéraux. Ainsi, par exemple, dans le gisement du cap de Prudelles, près de Clermont, des scories et des sables volcaniques sont interposés entre le granite et le basalte qui le recouvre (1). Au contact des deux roches, se montre une argile ferrugineuse (*Bol*), et il est facile de comprendre qu'elle provient du basalte dans lequel elle remplit habituellement les fissures et les cavités. § 52. *Argile ferrugineuse.*

Nous allons maintenant citer quelques exemples § 53. *Zéolithes.*

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 249.

montrant que des zéolithes peuvent se former dans la roche feldspathique encaissante.

Basalte et Granite.

Haustein. — A la montagne nommée Haustein qui se trouve près de Hornberg et vers le milieu de la Forêt Noire, M. J. Schill a étudié l'action du basalte sur le granite (1).

Le basalte de Haustein forme des filons puissants. Il contient lui-même des zéolithes. Il se répand quelquefois en filets très-minces dans le granite encaissant.

Le granite renferme, près du contact avec le basalte, de l'ocre et une argile verdâtre très-douce au toucher. Il a été modifié; mais cependant son quartz et son feldspath ne sont pas altérés.

Les fragments de granite empâtés dans le basalte ont été métamorphosés d'une manière plus complète. Le feldspath est devenu celluleux, opaque et gris-jaunâtre. Le quartz est vert olive pâle. Le mica a pris une couleur verte, quelquefois même il paraît avoir été changé en une scorie noire. Ces caractères, signalés par M. Schill, indiqueraient que le basalte de Haustein avait une température très-élevée au moment de son éruption.

La densité du granite normal est. 2.72
Celle du granite métamorphique. 2.73

Bien que ces deux roches diffèrent beaucoup par leur aspect, leur densité est donc la même.

Le granite métamorphique fait une légère effervescence avec l'acide. Il contient 2.95 d'eau. Il s'attaque par l'acide, mais le quartz conserve sa couleur verdâtre.

Il importe surtout de remarquer que, dans l'attaque, il se sépare de la silice gélatineuse; par conséquent comme le granite métamorphique du Haustein contient de l'eau, il est vraisemblable qu'il a été imprégné par

(1) *Neues Jahrbuch von Leonhard und Bronn* 1857, 1er Heft. p. 36.

une zéolithe; c'est d'ailleurs ce qui résulte aussi d'autres exemples que je vais citer.

Bilin. — Le contact du basalte et du gneiss s'observe très-bien dans la montagne sur laquelle est bâti le château de Bilin (1). Basalte et Gneiss.

Le basalte y forme des filons et il empâte des fragments de gneiss. Il est noir porphyrique à grands cristaux d'augite. Il contient aussi des lamelles bien cristallisées de mica ferromagnésien ayant une couleur brun tombac.

Quant au gneiss, il est grisâtre et très-riche en quartz. Il renferme du mica blanc d'argent et il est assurément digne de remarque que ce mica n'ait pas été altéré par le basalte.

Calciné, il ne perd que 0.70 pour 100 d'eau.

Lorsqu'on l'attaque par l'acide chlorhydrique, il se sépare un peu de silice floconneuse et le résidu insoluble pèse..... 96.63.

Quand on examine à la loupe le gneiss empâté par le basalte de Bilin, on y voit une matière d'un blanc mat qui forme un réseau microscopique entre les grains de quartz; cette matière paraît être une zéolithe; toutefois il n'y en aurait encore qu'une très-petite quantité.

Ile d'Arran. — Transportons-nous maintenant dans l'île d'Arran et nous allons trouver des zéolithes très-bien caractérisées qui tapissent les cellules d'un granite caverneux. C'est ce qui a lieu notamment pour le granite de la vallée Rosa qui renferme de la stilbite (2). Mais ce granite est traversé et altéré par des filons de basalte. Il est donc naturel d'admettre que les zéolithes, si rares d'ailleurs dans toutes les roches granitiques, y ont été introduites par le basalte. Basalte et Granite.

(1) Notes et collections de M. A. Boué.

(2) Boué. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 19, 499, 507.

La suite de ce mémoire nous montrera du reste que les zéolithes se sont fréquemment formées au contact des roches trappéennes, surtout lorsque la roche encaissante contient elle-même de la silice.

§ 54. *Structure corrodée.* — Nous avons déjà vu que les roches trappéennes ont quelquefois imprégné ou corrodé les roches feldspathiques à leur contact et qu'il y a même passage entre les deux roches sur une petite épaisseur. Il convient de revenir encore sur cette altération qui accuse une action très-énergique.

Dans certains cas, les roches volcaniques qui sont bréchiformes se comportent d'ailleurs comme des roches éruptives, à l'égard des fragments qu'elles renferment. C'est ce qui peut avoir lieu quand des roches volcaniques sédimentaires deviennent plastiques et sont cimentées de manière à former un conglomérat.

Conglomérat de palagonite et Gneiss. Le Puy. — Je citerai comme exemple un conglomérat de palagonite qui se trouve à la collection du Muséum et qui provient de la roche Corneille, près le Puy dans la Haute-Loire.

Conglomérat de palagonite. — Ce conglomérat empâte un fragment de gneiss qu'il a légèrement corrodé sur les bords. Il a même pénétré dans une fente résultant de la rupture de ce fragment et par conséquent il doit avoir été entièrement plastique (Pl. IV, *fig.* 9). Il a une structure celluleuse et bréchiforme. Il contient des morceaux de scorie noire, des cristaux de pyroxène, des grains de quartz et divers débris de roches volcaniques qui se fondent plus ou moins dans une pâte brune. Cette pâte qui constitue la plus grande partie de la roche m'a paru être de la palagonite.

Lorsqu'on calcine le conglomérat, il éprouve une perte de... — 13.20... — qui est due à de l'eau. Une température rouge suffit d'ailleurs pour qu'il entre en

fusion complète et il donne alors une scorie noirâtre uniforme; bien qu'il ait été fondu, il n'a donc pas été chauffé jusqu'au rouge.

Gneiss. — Le gneiss est visiblement corrodé sur une épaisseur de quelques millimètres et son quartz qui a bien résisté à l'action dissolvante forme de petits mamelons à la surface de contact.

Ce gneiss est extrêmement quartzeux; son quartz est blanc, hyalin, en petits grains accolés. Son feldspath paraît avoir un éclat un peu gras. Des parties vert noirâtres s'observent dans le gneiss. Quand on le calcine, il perd... 1.4 p. 100 d'eau. Il s'attaque par l'acide chlorhydrique, mais sans donner de la silice gélatineuse; il laisse un résidu insoluble qui pèse seulement.... 86.63. Il est remarquable qu'une roche granitique très riche en quartz, comme ce gneiss, s'attaque aussi fortement par l'acide; cette particularité tient sans doute à ce qu'il a été altéré par la roche volcanique qui l'empâte.

—Voici maintenant des exemples qui nous montrent une action beaucoup plus énergique, car la roche feldspathique a pris une structure vitreuse au contact de la roche trappéenne. § 55. *Structure vitreuse.*

Vivarais. — A la Gueule d'Enfer, près du pont de l'Ardèche, dans le Vivarais, MM. Lyell et Murchison ont observé une coulée basaltique qui s'est répandue pardessus le gneiss. Or, elle est séparée de ce gneiss par une sorte de rétinite qui est noir et ondulé. Le basalte lui-même est prismatique à sa partie inférieure et près du rétinite, il devient un peu scoriacé (1). *Basalte et Gneiss.*

Reykjavik. — Sur la côte de Vidhey, dans le port de Reykjavik, un filon de basalte traverse le trapp ancien de l'Islande. D'après M. Bunsen ce basalte contient 1,04 *Basalte et Trapp.*

(1) Lyell and Murchison. *Edimb. new. phil., Journal for July* 1829, p. 29.—Leonhard: *Die Basaltgebilde*, p. 92 et 438.

de pyrite, 5,35 de chaux carbonatée et 3,58 d'eau (1). Le trapp qui se trouve à son contact, a été complétement métamorphosé; il a pris une couleur noire, un éclat résineux, une cassure conchoïde et une structure vitreuse. Il ne renferme plus que 0,84 d'eau; mais cependant sa composition est encore celle que M. Bunsen attribue à la roche pyroxénique normale. On voit donc qu'une roche feldspathique en contact avec une roche trappéenne peut être vitrifiée et complétement métamorphosée dans ses propriétés physiques, sans que sa composition chimique soit notablement modifiée.

§ 56. *Structure pétrosiliceuse.* — Le plus souvent, quand les roches trappéennes ont altéré les roches feldspathiques, elles leur ont donné sur une certaine épaisseur une structure pétrosiliceuse. C'est, par exemple, ce que l'on observe quelquefois au contact du basalte, du trapp et même de la diorite.

Diorite et Granite. **Saint-Bresson.** — Ainsi, à Saint-Bresson, dans les Vosges, une diorite forme un énorme dyke qui pénètre dans le granite. Cette diorite est très-compacte, très-tenace, et pauvre en silice. Elle a modifié le granite près de son contact, et elle l'a changé en un pétrosilex gris noirâtre dans lequel on distingue seulement des paillettes de mica. Ce pétrosilex ne renferme que 63,80 de silice; il en contient moins, par conséquent, qu'il n'y en a habituellement dans le granite à un mica qui forme les Ballons. Il est donc visible que, dans la zone de contact, le granite a été imprégné par la pâte de la diorite (2).

Kersantite et Granite. **Sainte-Marie-aux-Mines.** — A la côte de Sainte-Marie-aux-Mines, le granite syénitique est traversé par un gros dyke de kersantite qui atteint 35 mètres. Au contact du dyke, on observe une roche pétrosiliceuse vert noirâtre

---

(1) *Poggendorff Annalen*, t. LXXXIII. p. 264. Ueber die Processe der vulkanischen Gesteinsbildungen Islands.

(2) *Annales des Mines*, 4e s., t. XVI, p. 352-356.

qui renferme quelques paillettes de mica et qui passe au granite sur une largeur de quelques décimètres (1).

§ 57. *Salebande. Mélaphyre et Granite.*

— Lorsque les roches trappéennes sont en filons dans les roches granitiques, leur salebande peut quelquefois être formée de quartz. Cette particularité remarquable a été observée par M. H. Müller au contact du mélaphyre et du granite des environs de Schneeberg (2).

§ 58. *Résumé. — Roches trappéennes et Roches feldspathiques.*

Résumé.

Les roches trappéennes n'agissent pas sur les roches feldspathiques de la même manière que les laves.

D'abord, le plus souvent, l'altération au contact est nulle ou très-faible. Lors même que du granite est empâté dans une roche trappéenne, on n'a jamais remarqué que son feldspath soit devenu vitreux (3). Mais on observe quelquefois près du contact, de l'hydroxyde de fer, des carbonates, de l'argile ferrugineuse, des zéolithes.

Lorsqu'une roche trappéenne forme filon dans une roche feldspathique, la séparation est généralement très-nette. Si la roche feldspathique a été modifiée, c'est seulement sur une petite épaisseur.

Les roches feldspathiques étant très-compactes, on comprend que de nouveaux minéraux ne puissent s'y développer que très-difficilement. De plus, elles sont peu altérables, en sorte qu'elles résistent aussi bien à la voie sèche qu'à la voie humide. Elles se comportent à peu près comme les roches siliceuses.

Les gisements dans lesquels les roches trappéennes paraissent avoir soumis les roches feldspathiques à une température élevée, sont très-exceptionnels; il faut donc admettre que la plupart des roches trappéennes peu-

---

(1) *Annales des Mines*, 4e série, t. XIX, p. 172.

(2) *Gangstudien* von B. Cotta und H. Müller, t. III, p. 58.

(3) *Jahresbericht*, von J. Liebig und H. Kopp, 1852, p. 956. — Gutberlet. *Einschlusse in vulkanoïdischen Gesteinen.* 1833.

vent devenir entièrement plastiques sans le secours de la chaleur : c'est d'ailleurs ce qui sera complétement établi par la suite de nos études sur le métamorphisme.

ROCHES CALCAIRES.

Les roches trappéennes se trouvent très-souvent en contact avec les roches calcaires, mais je choisirai de préférence les gisements dans lesquels il sera possible de bien observer la roche éruptive, la roche normale et la roche métamorphique.

Si le métamorphisme que nous allons étudier dépend de la roche éruptive, il dépend aussi de la composition des roches calcaires. Toutes choses égales, il n'est pas le même dans un calcaire pur, dans un calcaire magnésien, dans une dolomie, dans un calcaire argileux. Il conviendra donc de varier les exemples, de manière que ces diverses circonstances soient successivement passées en revue.

§ 59. *Altération nulle ou très-faible.*

Je remarquerai d'abord que très-souvent les roches trappéennes n'ont pas fait subir d'altération aux roches calcaires. C'est ce qui a lieu, quand bien même les roches trappéennes les empâtent complétement. Si l'on observe que les roches calcaires sont peut-être avec les combustibles celles qui se laissent le plus facilement modifier par tous les agents connus, ce fait doit paraître très-extraordinaire.

Je vais cependant en citer plusieurs exemples.

Trapp et Calcaire.

Bohême. — A la base du terrain silurien supérieur de la Bohême, M. J. Barrande a constaté l'existence d'une nappe de trapp qui s'est répandue sur les couches siluriennes avec lesquelles elle est en stratification concordante (1).

(1) J. Barrande. *Système silurien de la Bohême.*

Ce trapp a une grande épaisseur, et son étendue est d'une trentaine de lieues. Ses variétés sont très-nombreuses. Il est fortement imprégné de carbonates et il renferme souvent des amygdaloïdes de chaux carbonatée. Quelquefois, il est porphyroïde et l'on y distingue un feldspath du sixième système ainsi que des cristaux d'augite.

M. Barrande a observé qu'à Butowitz et à Branik, près de Prague, le trapp enveloppe des sphéroïdes calcaires provenant des schistes à graphtolithes sur lesquels il repose. Ces sphéroïdes ont leur grand axe qui n'est pas horizontal et qui peut même prendre toutes les directions (Pl. IV, *fig.* 15). Ils n'ont donc pas été déposés par les eaux, et il est visible que le trapp les a empâtés lorsqu'il était encore plastique. Malgré cela, leur altération est nulle ou seulement très-légère.

En outre, des fossiles et notamment des orthocères ont également été enveloppés par la roche trappéenne. Or, bien que leur têt calcaire ait disparu, ces fossiles sont encore très-reconnaissables.

Il est donc évident que des fragments de calcaire et même des fossiles, peuvent être empâtés dans une nappe de trapp sans éprouver, pour ainsi dire, d'altération.

Rochemaure. — Faujas de Saint-Fond a mentionné un calcaire blanc, à grain fin, qui est empâté dans un basalte noir, et qui n'a pas non plus subi d'altération. Il l'a observé dans les environs de Rochemaure en Vivarais (1). **Basalte et Calcaire.**

Aubenas. — A Aubenas, certains fragments de muschelkalk empâtés dans un basalte sont restés compactes et ont conservé leur couleur brun grisâtre. Dans le même gisement, d'autres fragments ont pris au contraire la structure cristalline. **Basalte et Calcaire.**

---

(1) Faujas de Saint-Fond, *Minéralogie des volcans*, p. 153.

Diorite et calcaire.

Mont Bédat. — Sur le chemin qui conduit de Bagnères à Cot-de-Ger (Pyrénées), il existe de nombreuses injections de diorite dans le calcaire du mont Bédat. Les deux roches sont séparées par une brèche à fragments anguleux de diorite. D'après les observations de M. Viquesnel, le calcaire conserve les mêmes caractères jusque dans cette brèche, et au contact il ne présente aucune trace d'altération.

Mélaphyre et Calcaire.

Palatinat. — Les mélaphyres jouent, comme on voit, un rôle important dans la géologie du Palatinat, et ils sont surtout très-abondants aux environs d'Oberstein. Leur gisement est bien connu par les descriptions qu'on possède de cette contrée, et ils ont été injectés dans le terrain de transition, dans le terrain houiller et même jusque dans le grès des Vosges (1).

Ils ont quelquefois produit sur les grès, les argiles et les calcaires de ces terrains des phénomènes de métamorphisme bien évidents.

Dans certaines circonstances, cependant, l'action qu'ils ont exercée est très-faible ou même nulle.

Ainsi, dans la vallée de la Nahe, pres de Kreutznach, on trouve des fragments anguleux de calcaire carbonifère qui sont empâtés dans le mélaphyre. Ce calcaire est traversé par des veines formées par une matière argileuse, vert jaunâtre. Il laisse dans l'acide un résidu qui est seulement de 2,58 p. 100. Il a d'ailleurs conservé sa couleur noire, et bien qu'il soit presque pur, il n'a pas pris la structure cristalline.

Mélaphyre et Calcaire pur ou magnésien.

Tyrol. — Cette absence de métamorphisme s'observe aussi fréquemment dans le Tyrol.

Le Tyrol a toujours été regardé comme classique

---

(1) Karsten und von Dechen. *Archiv.*, t. XXII, page 375. — E. Jacquot. *Études géologiques sur le bassin houiller de la Sarre.*

pour l'étude des phénomènes de métamorphisme produits au contact du mélaphyre. Il faut reconnaître cependant que, dans le plus grand nombre de cas, le mélaphyre n'a pas altéré le calcaire. M. Fournet, a observé, par exemple, le contact du mélaphyre avec le calcaire rouge à Cognola et à Martignano; or ce calcaire a bien été redressé et fissuré près du mélaphyre; mais il a conservé sa couleur rouge, et sa structure n'a pas changé.

Comme le fait remarquer M. Bertrand-Geslin, il ne s'est pas non plus métamorphosé en dolomie (1). Toutefois, au mont Bufauro, les fragments calcaires empâtés dans le mélaphyre ont pris une structure légèrement cristalline, surtout près de leurs bords (2).

Dans la vallée de la Fassa, près de Grodno, M. B. Cotta a remarqué de même une légère altération dans le muschelkalk qui est traversé par le mélaphyre. Mais bien que les filons aient 1^{m},50 de puissance, le muschelkalk n'est devenu cristallin que jusqu'à une distance de quelques centimètres du contact (3).

Trapp et Craie ou Calcaire glauconieux.

Irlande. — Le nord-est de l'Irlande, et notamment le comté d'Antrim, nous offrent un grand nombre de gisements classiques pour l'étude du métamorphisme.

Comme j'aurai souvent l'occasion d'en parler dans ce mémoire, il est nécessaire d'indiquer en quelques mots la constitution géologique de cette contrée qui est bien connue par les belles recherches de MM. Portlock et Griffith.

Si nous jetons les yeux sur la carte géologique de

(1) D'Archiac. *Histoire des progrès de la géologie*, t. III, p. 361.

(2) Fournet. *Résultats sommaires d'une exploration géologique du Tyrol méridional.* (Société d'agriculture de Lyon, séance du 16 janvier 1846, p. 9.)

(3) *Neues Jahrbuch* 1850, p. 132. B. Cotta : *Ueber die Umgebungen des Fassa Thaler.*

l'Irlande, publiée par M. Griffith, nous voyons qu'une surface énorme est occupée par le trapp. Il a surgi à travers la série des terrains qu'il a ensuite recouverts sous forme de nappes. Ses filons peuvent s'observer facilement, soit le long des falaises, soit près des escarpements naturels qui bordent le trapp lui-même.

Quant à l'épaisseur de la nappe de trapp, elle est quelquefois très-grande; elle peut s'élever à 150, à 250 et même à 400 mètres.

La série des terrains est assez incomplète dans cette partie de l'Irlande. Plusieurs étages y sont très-réduits ou bien y manquent complétement.

Le terrain crétacé couronne cette série, et c'est sur lui que repose le trapp (Pl. IV, *fig.* 10). D'après M. Bryce, qui a donné une description géologique des environs de Belfast, il se compose seulement du *greensand* supérieur et de la craie (1).

La craie est blanche, avec silex; mais elle appartient à la base de cet étage. Elle a d'ailleurs les mêmes caractères qu'en France, et elle renferme les mêmes fossiles. Sa surface présente de grandes différences de niveau. Elle se charge souvent de glauconie à sa partie inférieure.

Au-dessous vient le *greensand* supérieur, nommé dans le pays *mulatto*. On y distingue trois étages : le premier est un calcaire blanc grisâtre, généralement recouvert par un conglomérat quartzeux; le deuxième est un grès calcaire de couleur jaune; le troisième est un sable glauconieux de couleur verte.

Le terrain jurassique n'existe pas; seulement, vers les bords de la nappe de trapp, le lias se montre sur quelques points.

(1) James Bryce, *Geological notices of the environs of Belfast*, etc., Dublin 1852.

Le greensand et le lias manquent souvent.

L'épaisseur de la craie est environ de 35 mètres; celle du greensand de 15 mètres; celle du lias de 10 à 20 mètres.

Au-dessous se trouve le *New-red-Sandstone*. Il comprend les marnes irisées, ainsi que le grès bigarré. On l'observe, par exemple, dans les environs de Carrick-Fergus. Récemment, lord Dunshire y a même constaté l'existence de bancs de sel gemme qui se trouvent dans le grès bigarré et qui ont plus de 35 mètres de puissance. L'exploitation de ce sel commence à prendre quelque développement, et il sera très-intéressant de rechercher l'action du trapp sur le sel gemme, si l'on rencontre ces deux roches en contact dans la mine (1).

Dans tout le nord-est de l'Irlande, on observe très-fréquemment le trapp en contact avec la craie.

Or le plus généralement lorsque le trapp s'est répandu sous forme de nappe, il ne s'est pas produit de métamorphisme. Lorsque le trapp est en filons, il y a bien eu quelquefois métamorphisme; mais il est toujours très-limité, et paraît d'ailleurs en relation avec la puissance des filons.

Trapp. — Le trapp du nord-est de l'Irlande est ordinairement grenu et peu cristallin. On y distingue cependant des lamelles microscopiques d'un feldspath du sixième système ayant une couleur verdâtre. Il y a aussi du fer oxydulé, des carbonates, assez souvent de l'augite et quelquefois du péridot. C'est donc une roche basaltique et il en présente d'ailleurs les caractères généraux.

Il est très-remarquable par la grande variété des

(1) *Annales des mines*, 1857, 5e série, t. XI, p. 722. Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni.

zéolithes qui tapissent ses cavités. Ces zéolithes sont généralement bien cristallisées, et elles figurent souvent dans les collections de minéralogie.

Le trapp s'est répandu en nappe par dessus la craie. Cette nappe est formée d'assises superposées de trapp prismatique, de trapp compacte et amygdaloïde, de lits ocreux ayant une couleur rouge qui proviennent de trapp décomposé, de quelques veines d'argile et de lignite.

L'épaisseur de la nappe atteint un très-grand développement à la Chaussée des Géants et voici, d'après M. A. Streng, quelle est la composition du trapp de cette localité (1) :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.
52,15	14,87	11,40	0,32	10,58	6,46	0,69	2,60	1,19

Je ne m'arrêterai pas ici à une description plus détaillée du trapp qui couvre le nord-est de l'Irlande ; car elle m'éloignerait trop du but de ce mémoire, et je me contenterai de signaler les particularités qu'il présente dans chaque gisement où il sera nécessaire de l'étudier.

Craie généralement non altérée par la nappe, les amas ou les filons de trapp.

Nappe de trapp. — Le massif de montagnes entre Belfast et la Chaussée des Géants est presque entièrement formé de craie recouverte par le trapp.

Le plus généralement, lorsque ce trapp s'est répandu en nappes, il n'a pas produit de métamorphisme. En effet, si l'on examine la craie dans la partie qui en est la plus rapprochée, elle n'a pas la structure cristalline, et elle ne porte même aucune trace d'altération. Elle est d'ailleurs séparée de la nappe de trapp par un dépôt de transport.

(1) Dana, *Mineralogy*, Fourth Ed. t. II, p. 510.

Quelquefois cependant, et par exception, la nappe de trapp a modifié la craie sur laquelle elle repose : c'est ce qui a lieu notamment dans le voisinage de filons puissants, et j'en citerai des exemples à Woodburn.

Amas de trapp. — Le trapp forme quelquefois des amas complétement isolés au milieu de la craie. Ce gisement exceptionnel est très-intéressant à étudier ; aussi a-t-il vivement excité l'attention de MM. Buckland, Griffith et Portlock, qui l'ont d'abord observé.

La *fig.* 12 Pl. IV. nous montre un de ces amas de trapp : il a un mètre de diamètre, et il se trouve au milieu de la craie à White Rock, près de Portrush. Pour que la matière du trapp ait pu s'infiltrer jusqu'à une grande profondeur dans la craie, il faut nécessairement qu'elle ait été extrêmement fluide. Il est possible aussi que sa pénétration ait été facilitée par cette circonstance que la craie n'était pas encore durcie. En tout cas, ce qu'il importe de bien constater, c'est que ce trapp en amas, qui était certainement très-fluide, n'a pas produit d'altération sur la craie à son contact.

Filons de trapp. — Lorsque le trapp est en filons, il arrive assez souvent qu'il n'a exercé sur la craie aucune espèce de métamorphisme. C'est ce qui a lieu surtout quand il est en filons peu puissants. Alors, au contact même de ces filons, la craie n'a changé ni de couleur ni de structure.

§ 60. *Glauconie non altérée.* Trapp et Calcaire glauconieux.

— La glauconie elle-même n'a pas été altérée au contact des filons de trapp. Or, la glauconie est un hydrosilicate de fer et de potasse, et elle aurait dû perdre son eau de combinaison, si elle avait été soumise à l'action de la chaleur. Il n'en est cependant rien, comme il est facile de le reconnaître en examinant le contact du greensand et du trapp aux environs de Belfast.

C'est, par exemple, ce que j'ai observé à la colline

de Cave Hill. La glauconie s'est conservée, bien que la roche qui la renferme paraisse légèrement modifiée près du trapp; car ses cavités sont tapissées par de la calcédoine et par de la chaux carbonatée spathique.

Trapp et Calcaire glauconieux devenu cristallin.

— Mais j'ai à signaler un fait beaucoup plus extraordinaire encore; c'est que la glauconie n'a pas été détruite, quand bien même le calcaire glauconieux a pris la structure cristalline.

Au bord du ruisseau de Woodburn, près de Carrick Fergus, un filon de trapp coupe la craie blanche et la craie glauconieuse (Pl. IV, *fig.* 17). Sa puissance est de $3^m,90$. Il est formé par un trapp vert noirâtre et grenu, dans lequel on distingue seulement quelques lamelles microscopiques de feldspath. La perte au feu de ce trapp est seulement de 2 p. 100.

Au contact du filon, et jusqu'à plus d'un mètre, les calcaires sont devenus légèrement cristallins et en même temps leur couleur est un peu modifiée.

J'ai examiné spécialement la craie glauconieuse qui touche le filon. Elle a pris une couleur gris bleuâtre. Elle est cristalline, un peu celluleuse et rude au toucher; on serait tenté de la prendre pour de la dolomie. Dans les parties exposées à l'air, cette roche s'altère d'une manière inégale, et il reste en saillie un tissu qui est réticulé comme de la dentelle. Dans ses fissures on voit un peu de chaux carbonatée spathique et de l'oxyde brun de manganèse. Sa densité est... 2,667. Quand on la chauffe légèrement de manière à ne pas décomposer son carbonate, elle devient blanc grisâtre.

J'ai déterminé sa composition en l'attaquant par un acide faible. J'ai obtenu un résidu vert olive foncé que j'ai examiné spécialement. Il est en grains. Il contient 6,66 d'eau, et se comporte en tout comme la glauconie.

Calcaire cristallin et glauconieux de Woodburn.

Carbonate de chaux.	97,55
— magnésie.	traces.
Glauconie.	1,50
	99,05

Ainsi, quand un calcaire contenant de la glauconie prend une structure cristalline au contact du trapp, il ne se forme pas de dolomie. De plus, malgré la cristallisation du calcaire, la glauconie peut être conservée. J'ajouterai enfin que la glauconie a été conservée, dans plusieurs gisements, lors même que le calcaire ou le sable quartzeux qui la renferment, sont complétement empâtés par des filons de trapp.

L'existence de la glauconie dans un calcaire devenu cristallin au contact du trapp, est un fait qui me paraît extrêmement remarquable; car il exclut pour ce calcaire toute hypothèse de cristallisation par une action exclusivement ignée.

— Les roches trappéennes ont d'ailleurs fait subir de fréquentes métamorphoses aux roches calcaires, et je vais maintenant étudier ces métamorphoses en commençant par celles qui ont altéré la structure.

Il est assez rare que des calcaires prennent une structure prismatique au contact des roches trappéennes. Néanmoins, cela a lieu quelquefois, et le calcaire d'eau douce de l'Auvergne va nous en offrir quelques exemples. § 61. *Structure prismatique.*

Puy-de-Jume. — Au Puy-de-Jume, près Clermont, le calcaire d'eau douce est recouvert par le basalte qui l'a rendu prismatique. Ses prismes sont toujours petits et irréguliers. Sa couleur est pâle. De plus, il est fissuré et très-fragile (1). Basalte et Calcaire siliceux.

Gergovia. — Je citerai encore spécialement la montagne Gergovia, aux environs de Clermont. Dans l'un Basalte et Calcaire siliceux.

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, II, p. 262.

des ravins de cette montagne, au-dessous du chemin d'Aubière à Merdogne, un puissant filon de basalte forme une espèce de nappe qui recouvre le calcaire lacustre de la Limagne (Pl. V, *fig.* 12).

Ce calcaire est au contact immédiat du basalte près duquel ses couches perdent de leur régularité. Sur certains points, il devient prismatique, ou du moins il se divise en fragments polyédriques. Les fissures qui le traversent sont tapissées par de l'hydroxyde de fer. Sa couleur est noir brunâtre : elle est due à une matière organique bitumineuse. Sa cassure est tranchante et esquilleuse. Il donne l'odeur argileuse. Il est bien compacte, mais fragile. Il est très-dur, et il raye facilement le verre. Sa densité est faible, car elle est au plus de... 2,38. Comme les calcaires siliceux, il fait dans l'acide une effervescence très-lente. Le résidu, insoluble dans l'acide, conserve exactement la forme des fragments : ce résidu devient blanc lorsqu'il est calciné ; j'ai constaté que c'est du silex résinite.

Calcaire prismatique de Gergovia (1).

Carbonate de chaux. (diff.).	38,29
Carbonate de magnésie	0,86
Résidu siliceux.	57,50
Eau.	3,35
Somme.	100,00

Le calcaire prismatique qui se trouve au contact du basalte de Gergovia est, il est vrai, siliceux ; mais rien n'indique que cela doive être attribué au basalte. Je remarquerai aussi qu'il renferme très-peu de magnésie. Enfin, la présence de l'eau et d'une matière organique noirâtre qui disparaît dans la calcination, ne permettent guère de supposer qu'il ait été soumis à une forte chaleur.

Le calcaire recouvert par le basalte de Gergovia est

(1) Lecoq et Bouillet. *Vues*, etc., p. 192. Échantillon, CLXI.

quelquefois argileux. Il peut alors être traversé par une multitude de veines formées de petits cristaux de chaux carbonatée spathique. L'essai d'un échantillon de ce dernier calcaire m'a montré qu'il renferme un tiers de son poids d'argile grisâtre et seulement une trace de magnésie. C'est donc à tort que Vogel a indiqué 16 pour 100 de magnésie dans le calcaire qui touche le basalte de Gergovia.

Pont-du-Château. — Au contact du basalte, le calcaire lacustre de Pont-du-Château présente la structure sphéroïdale. Ce calcaire est, comme on sait, imprégné de bitume; mais son altération est cependant très-faible (1). § 62. *Structure sphéroïdale.* Basalte et Calcaire.

Lorsque la structure prismatique ou sphéroïdale se produit dans un calcaire au contact du basalte, elle doit surtout être attribuée au retrait éprouvé par une matière siliceuse ou argileuse dont il renferme alors une grande proportion. Ce calcaire devenu prismatique n'a généralement subi qu'une altération extrêmement légère, et il ne s'est pas changé en marbre. Tout indique donc que s'il a éprouvé une élévation de température, elle a été peu considérable.

— Je passe maintenant à des gisements dans lesquels le calcaire a pris la structure cristalline. § 63. *Structure, cristalline.*

Val di Noto. — La roche basaltique qui se trouve dans le Val di Noto, en Sicile, renferme du calcaire en fragments informes (Pl. IV, *fig.* 29). Cette roche est amygdalaire et elle contient de petites amandes de chaux carbonatée. Sa perte au feu est de... 8,9. Quant au calcaire, il est compacte, rougeâtre, quelquefois veiné et légèrement celluleux. Il laisse dans l'acide un résidu argileux blanc rougeâtre qui est seulement de... 3,70. Il Basalte et Calcaire.

(1) Rozet. Mémoire sur les volcans de l'Auvergne (*Mémoires de la Société géologique*, 2e série, t. I, p. 92).

contient... 0,74 de magnésie. Près des bords des fragments, il a cristallisé en lamelles blanches, spathiques, qui divergent de la surface de contact et qui, vers leur extrémité, se fondent dans la chaux carbonatée rougeâtre. La partie cristalline forme par suite une sorte d'auréole autour de la partie amorphe. Il est donc bien visible que la cristallisation du calcaire a été déterminée par le basalte et qu'elle s'est développée de la circonférence vers le centre.

Basalte et Muschelkalk.

Kirschberg. — Au Kirschberg, dans les environs de Fulda, M. de Léonhard a signalé un amas basaltique dans lequel sont empâtés des lambeaux de muschelkalk (1).

Ce muschelkalk a conservé l'empreinte de ses fossiles, et l'on y distingue très-bien des peignes, des plagiostomes, des térébratules; mais il a pris une couleur blanc grisâtre, une structure grenue et cristalline. Quelquefois encore il a été rougi et imprégné d'oxyde de fer. Sa densité est... 2,448, tandis que celle du muschelkalk normal de Hasmersheim est... 2,665; il paraîtrait donc, d'après ces résultats donnés par M. de Leonhard que la densité d'un calcaire très-dense et très-compacte comme le muschelkalk, peut diminuer par la cristallisation.

La présence de fossiles dans un calcaire devenu cristallin est un fait qui a été souvent constaté, mais qui mérite d'être signalé tout spécialement; car il démontre d'une manière irrécusable que la structure cristalline se développe dans le calcaire sans qu'il soit amené à l'état de fusion.

Lherzolithe et Calcaire.

Pyrénées. — La lherzolithe est une roche qui est presque entièrement formée de pyroxène. De Charpentier, qui l'a surtout étudiée, nous apprend qu'elle se montre

---

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 231 et 532.

en amas stratiformes au milieu du calcaire saccharoïde. Elle est souvent accompagnée de brèches formées de lherzolite et de calcaire. Bien qu'elle ne me paraisse pas être, à proprement parler, éruptive, il m'a paru intéressant d'examiner le calcaire avec lequel elle se trouve en contact immédiat.

Lherzolithe. — Je rappelle que la lherzolithe se compose de pyroxène, tantôt compacte, tantôt lamelleux et grenu. La couleur de ce pyroxène est verte et quelquefois grise. Elle devient aussi vert émeraude, et alors le pyroxène se change en un diallage chromifère, comme celui dont j'ai signalé l'existence dans la serpentine des Vosges. On y trouve accidentellement des nodules d'hornblende.

La lherzolithe contient toujours un peu d'eau; j'ai constaté, en effet, qu'il y en avait... 1,25 p. 100 dans un échantillon très-dur et qui ne portait aucune trace d'altération. Celle qui est au contact immédiat du calcaire en renferme bien davantage, et alors elle a subi une altération dont l'étude nous occupera dans la deuxième partie de ce travail.

Calcaire. — Le calcaire avec lequel la lherzolithe se trouve en contact est blanc et saccharoïde. Mais sa structure cristalline ne doit pas être uniquement attribuée à une action exercée par la lherzolithe; car les calcaires associés à cette roche sont tous plus ou moins cristallins, en sorte qu'il est assez difficile de faire la part de la lherzolithe dans ce métamorphisme.

Ce calcaire est d'ailleurs légèrement ferrifère; aussi prend-il quelquefois une couleur brunâtre assez foncée.

J'ai fait l'essai des deux échantillons suivants.

I. *Calcaire saccharoïde*, blanc ou brun jaunâtre au contact immédiat de la lherzolithe de la Bouiche, près d'Orus. Il contient des lamelles hexagonales d'une chlorite blanche ou ver-

dâtre, ressemblant à celle de Mauléon, dont j'ai fait connaître antérieurement la composition (1). Il renferme aussi des grains de pyrite magnétique et un peu de quartz.

II. *Brèche calcaire* à fragments blancs et brun-jaunâtrés, intercalée entre la lherzolithe et le calcaire saccharoïde de l'étang de Lherz. De même que pour le calcaire précédent, le résidu insoluble dans l'acide est formé de chlorite hexagonale, de quarz et de pyrite.

	Calcaires de	
	La Bouiche. I.	*Lherz.* II.
Carbonate de chaux	92,95	86,43
Carbonate de magnésie . . .	1,25	3,47
Oxyde de fer et un peu d'alumine.	traces	1,78
Eau et perte.	0,90	3,04
Résidu insoluble.	3,68	5,28
Somme. .	98,78	100,00

La lherzolithe est une roche éminemment magnésienne, puisqu'elle est formée de pyroxène; aussi plusieurs géologues n'ont-ils pas manqué de lui attribuer la vertu de changer en dolomie le calcaire à son contact. Mais l'analyse vient de démontrer que ce calcaire est à peine magnésien. La petite proportion de magnésie qui a été trouvée doit même provenir en partie de la chlorite qui s'attaque nécessairement un peu par l'acide.

Il est donc bien évident que le calcaire n'a pas été changé en dolomie, ou en calcaire magnésien, au contact de la lherzolithe.

— Dans les gisements que je vais décrire maintenant, le calcaire a pris une structure très-cristalline, et souvent même il est blanc comme du marbre. De plus, la roche trappéenne est la cause unique et bien certaine de son métamorphisme.

Trapp et Calcaire carbonifère.

Bleadon-Hill. — Dans le comté de Somerset, à Bleadon-Hill, le trapp a traversé le calcaire carbonifère.

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. IX, p. 396.

Près de son contact, ce calcaire a été altéré : il a pris une teinte pâle, il est devenu plus fragile et il s'est changé en chaux carbonatée. Le métamorphisme qu'il a éprouvé s'observe jusqu'à 2 et même jusqu'à 8 mètres du trapp (1).

Larne. — A Ballygelly, près de Larne, de grandes masses de trapp ont pénétré dans la craie qui a été métamorphosée sur une grande échelle. Trapp et Craie.

Cette craie est devenue complétement cristalline près du contact. Elle s'est changée en un calcaire saccharoïde, formé de petits grains cristallins qui se désagrégent très-facilement. Elle présente le type le plus cristallin de la craie métamorphique de l'Irlande. Si cette roche était plus compacte, elle pourrait même être employée comme marbre.

Je remarquerai que la densité de la craie est seulement de... 2,20 ; celle de la chaux carbonatée cristalline s'élève, au contraire, à... 2,72. Le métamorphisme a donc donné lieu à une augmentation de densité de 23 p. 100 ou de plus du cinquième. Il en est nécessairement résulté une diminution de volume égale ; par suite il est facile de comprendre pourquoi la craie devenue cristalliné est sableuse et aussi facile à désagréger.

La craie cristalline de Larne est blanche, quelquefois un peu grisâtre. Quand on la désagrége elle donne une poudre phosphorescente. Calcinée au rouge sombre, elle perd seulement 0,50 d'eau. Dissoute dans un acide faible, elle laisse un résidu pesant seulement... 1,80.

J'ai observé que la craie d'Irlande, qui est fortement cristalline, donne généralement un peu de silice floconneuse quand on l'attaque par un acide. Le sable et

---

(1) Rev. Dr Williams. *Quarterly Journal of the geological society of London*, t. I, p. 47 et 50.

l'argile qu'elle contenait à l'état de mélange sont donc devenus attaquables en même temps que la chaux carbonatée prenait la structure cristalline : il semblerait qu'il s'est produit entre le calcaire et la silice une réaction analogue à celle qu'on observe lorsqu'on fait cuire un calcaire siliceux ou argileux dans un four à chaux.

Basalte et Craie.

Divis. — M. Roth a analysé la craie grenue et sableuse qui se trouve au contact du dyke Donnell à la montagne de Divis, près de Belfast (1). Les résultats obtenus concordent avec ceux qui viennent d'être donnés :

	Craie de Divis.
Carbonate de chaux.	98,32
Carbonate de magnésie	0,02
Silice	0,37
Acide phosphorique.	0,89
Alumine et Oxyde de fer.	0,94
Eau	0,52
Somme.	101,06

— Il serait facile de citer d'autres gisements dans lesquels la craie est devenue cristalline. Dans le comté d'Antrim, dans le nord de l'Irlande et dans les îles voisines de l'Écosse, on en connaît un grand nombre. Mais je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet et je me contenterai de faire remarquer que généralement la structure cristalline de la craie ne se développe pas à plus de 3 mètres de distance des filons de trapp. Elle s'accroît d'ailleurs avec la puissance de ces filons.

Dolérite et Calcaire magnésien.

Moel-y-don-Ferry. — Le calcaire magnésien (*magnesian limestone*) est traversé par de la dolérite à Moel-y-don-Ferry. Au voisinage de la roche trappéenne, ce calcaire perd sa couleur rouge et devient cristallin. Tantôt

(1) *Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft* 1855, p. 14.

il est brunâtre et lithoïde, tantôt, au contraire, il est blanc et en grains désagrégés (1). Lorsque la dolomie se trouve au contact des roches trappéennes, elle prend donc, comme le calcaire pur, la structure cristalline.

Quelquefois aussi sa magnésie peut disparaître. § 64 *Disparition de la magnésie.*

Trapp et Calcaire magnésien.

Bute. — A la carrière de Kilchattan, dans l'île de Bute, M. Bryce a observé un calcaire magnésien dans lequel est intercalée une nappe de trapp basaltique (2). Au contact du trapp, ce calcaire est très-fortement métamorphosé; il est devenu grenu, friable et saccharoïde. Un peu plus loin, il s'est changé en un marbre dur dans lequel on distingue des lamelles cristallines. Or, d'après MM. Thomson et J. Mac Adam, le calcaire magnésien, qui se trouve à une certaine distance du trapp, contient 18 p. 100 de carbonate de magnésie, tandis que le calcaire cristallin qui est à son contact, n'en a plus que 1 à 2 p. 100. Si l'on suppose que les analyses aient été faites sur des échantillons provenant bien de la même couche, le calcaire magnésien aurait donc perdu presque toute sa magnésie au voisinage du trapp. Au premier abord, ce résultat semble bizarre. Et, cependant, si l'on admet seulement que le trapp ait été injecté à l'état de fusion aqueuse, il devint très-facile de s'en rendre compte; car le carbonate de magnésie est plus soluble dans l'eau que le carbonate de chaux.

— On vient de voir qu'un calcaire métamorphique se change quelquefois en un agrégat de cristaux de chaux carbonatée. Mais souvent aussi, il s'y forme d'autres minéraux; je citerai notamment l'hydrate et l'hydrocarbonate de magnésie, les zéolithes, la terre verte, les silicates, les minéraux des gîtes métallifères.

---

(1) Henslow. *Transact. of the Camb. Phil. soc.*, t. I, p. 414.
(2) *Philosophical Magazine*, t. XXXV, p. 90.

§ 65. *Hydrate et Hydrocarbonate de magnésie.*

Down Hill. — M. le colonel Portlock a signalé à Down Hill dans le comté de Derry, un trapp amygdalaire, tendre et argileux, qui renferme des veines stratifiées d'une substance minérale assez curieuse (1).

Elle a la forme de sphéroïdes ou de nodules qui sont entourés par de la terre verte, de la chaux carbonatée spathique, de la dolomie, quelquefois comme à Dunboe par de la natrolithe.

Sa couleur, qui est blanche légèrement grisâtre, devient jaune nankin quand elle a été exposée à l'air. Sa cassure est compacte, esquilleuse et son éclat perlé. Elle est légèrement translucide. Sa densité est... 2,731,

Quand cette substance est calcinée, elle décrépite légèrement et devient gris un peu jaunâtre. Elle paraît encore homogène, comme avant la calcination. Elle renferme de l'eau. Dans l'acide, elle donne une liqueur laiteuse; elle produit d'abord une effervescence vive à laquelle succède une effervescence très-lente qui dure jusqu'à dissolution complète; il s'y trouve donc du carbonate de magnésie.

Il m'a paru intéressant de déterminer la composition de cette substance de Down Hill; c'est ce que j'ai fait avec l'aide de M. Brivet :

		Oxygène.
Chaux	47,00	13,206
Magnésie	6,70	2,503
Protoxyde de fer	1,00	0,228
Acide carbonique	42,25	30,568
Eau	2,75	2,444
Silice	0,30	»
Somme	100,00	

La substance enclavée dans le trapp de Down Hill renferme visiblement un hydrocarbonate. Si l'on combine à la chaux et au protoxyde de fer les quantités d'acide

(1) Portlock : *Report*, etc., p. 142.

carbonique qui leur sont nécessaires, il reste 3,700 d'oxygène sur l'acide carbonique; mais le rapport de cet oxygène à celui de l'eau et de la magnésie est sensiblement de 1,5 à 1; par conséquent on peut admettre l'existence d'un hydrocarbonate de magnésie ayant la composition de l'hydromagnésite [$3(MgO, CO^2+HO)+MgO, HO$] (1).

La substance de Down-Hill, qui ne s'observe pas en cristaux, mais en sphéroïdes, doit plutôt être considérée comme une roche que comme un minéral défini. Ce serait alors un mélange de six atomes de chaux carbonatée avec un atome d'hydromagnésite. Elle a du reste quelque ressemblance avec le gurhofian, la conite et même avec la miemite que l'on réunit habituellement à la dolomie, mais qui contiennent aussi un peu d'eau.

Ce qu'il importe surtout de remarquer ici, c'est que l'hydromagnésite peut se former dans un calcaire en contact avec une roche trappéenne.

— On se rappelle d'ailleurs que la brucite ou la magnésie à l'état d'hydrate [MgO, HO], se montre aussi dans le voisinage de l'hypérite de Predazzo. En effet, près du contact, le calcaire jurassique s'est changé en un marbre blanc, compacte et saccharoïde dont la composition est $2(CaO, CO^2)+MgO, HO$. J'ai trouvé pour la densité de ce marbre... 2,532. A une certaine distance, le calcaire jurassique est resté gris noirâtre; mais il est veiné ou tacheté, et, d'après M. Roth qui l'a nommé Pencatite, sa composition est alors CaO, CO^2+MgO, HO (2). On y trouve donc plus de brucite que dans le marbre lui-même; en sorte que la cristallisation du marbre paraît avoir éliminé une partie de l'hy- **Brucite.** **Hypérite et Calcaire.**

(1) Dana. *Mineralogy*, fourth ed., t. II, p. 456.

(2) Voir page 117, Naumann : *Minéralogie*, 1855, page 195, et Damour : *Bulletin de la Soc. géol.*, 2e s., t. IV, p. 1054.

drate de magnésie qui a reflué jusque dans le calcaire. Ici, de même qu'à Bute, la magnésie aurait donc en partie disparu.

Quoi qu'il en soit, il est certain que la brucite et l'hydromagnésite doivent être comptés parmi les minéraux qui se développent au contact des roches trappéennes.

§ 66. *Hydroxyde et Oxyde de fer.* — L'oxyde de fer s'observe assez souvent près du contact des roches trappéennes, et déjà nous avons eu l'occasion de le mentionner. Voici quelques exemples de sa présence dans les roches calcaires.

Concrétions marneuses avec oxyde de fer. A Woodburn, en Irlande, à la base de la craie, on rencontre quelquefois des concrétions marneuses qui sont assez bizarres. Elles paraissent avoir été imprégnées d'oxyde de fer, dans le voisinage des filons de trapp; on les appelle *Iron shot chalk.*

Elles s'observent très-bien à Woodburn, et la *fig.* 17, Pl. IV, montre quelle est leur position.

Ces concrétions marneuses et ferrugineuses ont une couleur rouge qui appelle tout d'abord l'attention. Elles présentent des veines concentriques qui leur donnent de la ressemblance avec le bois. Elles sont recoupées par des cloisons calcaires comme celles des *septaria.* Dans leurs cavités, il y a de l'oxyde de fer.

J'ai fait un essai d'une concrétion marneuse et ferrugineuse prise à Woodburn près du filon de trapp.

Iron shot chalk.

Carbonate de chaux.	59,60
Argile et oxyde de fer.	32,76
Eau.	7,64
	100,00

On voit donc que 0,4 de cette concrétion sont formés d'argile grise mélangée à une certaine quantité d'oxyde de fer.

Calcaire jaspé par l'hydroxyde de fer. — Lors même qu'il est pur, le calcaire qui se trouve dans le voisinage des roches trappéennes est assez souvent jaspé par des veines d'hydroxyde de fer.

Cave-Hill. — Ainsi, sur la colline de Cave-Hill, près de Belfast, la craie à silex, à 1 mètre au-dessous de la nappe de trapp, devient accidentellement dure, compacte, et présente des veines brunes ou jaunes qui lui donnent une structure jaspée. Un essai m'a montré que cette craie jaspée, traitée par un acide faible, donne un résidu qui est seulement de 0,98 : par conséquent elle est presque pure; mais elle a été très-légèrement imprégnée par de l'hydroxyde de fer.

Auvergne. — Au Puy du Mur, en Auvergne, on trouve dans le tuf grossier qui forme la base de la montagne un calcaire siliceux qui est également jaspé par des veines jaunes et verdâtres (Pl. V, *fig.* 11). Il ressemble beaucoup à celui de Cave-Hill.

Un calcaire semblable se retrouve encore à Beneau, entre Laps et Vic-le-Comte.

— Du reste, le calcaire jaspé par de l'hydroxyde de fer se produit sans l'intervention d'aucune roche éruptive, et uniquement par des infiltrations ferrugineuses.

En effet, dans la tranchée du chemin de fer de Paris à Chaumont, près de Longueville (Seine-et-Marne), j'ai observé de la craie jaspée par des veines jaunes ressemblant complétement aux calcaires desquels je viens de parler qui sont au voisinage de roches trappéennes. Ce phénomène s'explique facilement, et il tient à ce que la craie de Longueville est recouverte par les sables inférieurs de l'argile plastique, qui sont très-riches en oxyde de fer.

Ainsi, bien que les roches calcaires au contact du trapp soient quelquefois imprégnées par de l'hydroxyde de fer, le métamorphisme qu'elles ont alors subi est généralement très-peu important. De plus, il peut avoir été produit par des infiltrations ferrugineuses postérieures à l'éruption du trapp. Je ne m'étendrai donc pas plus

longuement sur ce sujet, et je vais décrire quelques gisements remarquables des Pyrénées dans lesquels les roches calcaires sont imprégnées de fer oligiste au voisinage des roches trappéennes.

Fer oligiste.

Ophite et Calcaire.

Pyrénées. — L'ophite est une roche éruptive à laquelle on a toujours attribué des phénomènes de métamorphisme assez complexes.

Les observateurs qui ont exploré les Pyrénées ont remarqué, en effet, que l'ophite est souvent associé à du calcaire, à une sorte d'argile, à des gypses et plus rarement à du sel. Ces roches ne se trouvent pas toujours avec l'ophite, mais elles sont ordinairement dans son voisinage.

Ils ont pensé, d'après cela, que plusieurs d'entre elles pouvaient avoir une origine éruptive, et cette opinion a surtout été adoptée pour le gypse qui présente des caractères tout à fait spéciaux. Mais un travail récent de MM. Crouzet et de Freycinet a montré que le gypse, le sel et les roches argileuses qui les accompagnent ont une origine sédimentaire et sont antérieurs à l'ophite (1).

Toutefois, l'ophite paraît avoir métamorphosé ces roches, non-seulement par une action de contact immédiat, mais encore en les pénétrant par des substances gazeuses et métalliques. Toujours est-il qu'on trouve dans son voisinage du fer oligiste qui peut même devenir assez abondant pour être exploité comme minerai de fer; c'est ce qui a lieu, par exemple, à Bastennes et à Brassempouy. C'est ce qui a lieu également à Rabot, où un minerai de fer, formé d'hydroxyde mélangé d'oxyde rouge, se trouve en veines dans l'ophite (2).

Indépendamment du fer oligiste, de la stilbite et de

(1) *Annales des Mines*, 5e série, t. IV, p. 361. Etude géologique sur le bassin de l'Adour.

(2) Durocher. *Annales des mines*, 4e série, t. VI, p. 95.

la prehnite se montrent quelquefois dans l'ophite ; mais ces zéolithes sont rares ; elles restent dans la roche éruptive, et jusqu'à présent on ne les a pas observées dans les roches métamorphiques encaissantes.

— Cela posé, je vais chercher à étudier l'action exercée par l'ophite sur le calcaire qui est à son contact.

Ce calcaire, nommé travertin par Palassou, est caverneux. Il n'est pas sans quelque ressemblance avec celui qui sera décrit plus loin et qu'on observe dans les Alpes Bernoises au contact du granite. Il est assurément très-remarquable que des roches aussi différentes que l'ophite et le granite aient produit des effets à peu près semblables sur le calcaire.

C'est un calcaire ferrugineux et comme carié. Il a une couleur généralement jaunâtre ou brunâtre qu'il doit à un peu de carbonate de fer décomposé. Des lamelles de fer oligiste y sont même disséminées.

Près du contact de l'ophite, il est traversé par des veines de chaux carbonatée et quelquefois de quartz. Il passe aussi à une brèche formée des débris de diverses roches. Enfin, au contact immédiat de l'ophite, cette brèche elle-même peut se réduire à des fragments d'ophite cimentés par du calcaire spathique.

Je vais décrire avec détail les phénomènes observés au contact de l'ophite et du calcaire dans quelques gisements des environs de Bagnères de Bigorre. Les échantillons qui m'ont servi pour cette étude ont été recueillis sur ma demande par M. Viquesnel, qui a exploré cette localité avec le plus grand soin, dans plusieurs voyages qu'il a faits aux Pyrénées.

Diorite et Calcaire.

Mont Mouné. — Je m'occuperai d'abord d'un gisement du mont Mouné, près de Bagnères de Bigorre (Pl. IV, *fig.* 14). L'ophite *t* du mont Mouné a fait éruption à travers un calcaire et c'est à son contact que s'observe

le calcaire ferrugineux que je me propose d'étudier.

Le nom d'ophite ayant été donné à des roches très-diverses, il est nécessaire de faire connaître d'abord la roche éruptive du mont Mouné.

Diorite. — C'est une diorite formée d'anorthose blanc et d'hornblende verte. Elle contient de la chaux carbonatée qui tapisse ses cavités. Des lamelles de fer oligiste spéculaire sont disséminées dans sa pâte, et se sont concentrées dans des veines qui la traversent. Sa perte au feu est de... 4,50 p. 100. Quand on la traite par l'acide chlorhydrique, elle donne un résidu de.... 95,25.

Calcaire. — Le calcaire *c* dans lequel se trouve la diorite est blanc grisâtre, compacte, grenu, rugueux, légèrement saccharoïde. Il laisse dans l'acide un faible résidu de quartz blanc hyalin. Il est à l'état de marbre; mais comme il en est de même pour les autres calcaires de Bagnères, leur structure cristalline doit être attribuée à un métamorphisme normal.

Calcaire ferrugineux. — Lorsqu'on se rapproche de la diorite, on voit le calcaire devenir ferrugineux *m*. Il est brun jaunâtre, rugueux et celluleux. Ses cavités sont tapissées de petits cristaux de chaux carbonatée. Il contient des fragments de diorite qui le rendent bréchiforme. Ces fragments sont généralement plus ou moins altérés. Leur nombre et leur grosseur augmentent à mesure que l'on se rapproche de la diorite, et même à son contact on n'a plus qu'une brèche dioritique *t'* qui est cimentée par du calcaire.

Ce calcaire ferrugineux du mont Mouné renferme aussi des veines de quartz blanc hyalin, de l'argile et du fer oligiste spéculaire.

J'ai fait des essais du calcaire compacte (I) et du calcaire ferrugineux (II), surtout dans le but de rechercher comment y variait la magnésie.

	Mont Mouné.	
	I.	II.
Carbonate de chaux.	99,17	59,68
Carbonate de magnésie.	0,54	traces.
Oxyde de fer et alumine	traces.	11,87
Résidu insoluble.	0,83	28,45
	100,54	100,00

Il est évident que le calcaire ferrugineux au contact de la diorite ne renferme que des traces de magnésie. Cette magnésie ne peut être attribuée à la diorite, car il y en a une proportion un peu plus grande dans le calcaire compacte qui est à une certaine distance.

Comme ce résultat était en opposition avec les idées généralement reçues et avec ce qu'on est naturellement porté à croire d'après les caractères du calcaire ferrugineux, il m'a paru nécessaire de le vérifier dans d'autres gisements.

Diorite et Calcaire.

Pouzac. — L'abbé Palassou, qui a étudié avec tant de soin l'ophite des Pyrénées, a déjà fait connaître le gisement intéressant du pont de Pouzac (1): On y voit très-bien l'ophite qui forme de petits mamelons recouverts par le calcaire ferrugineux. La *fig.* 15, Pl. IV, représente un de ces mamelons qui se trouve sur la rive droite de l'Adour.

Diorite. — L'ophite de Pouzac *t* est une diorite granitoïde qui, sur certains points, passe à l'état d'arène. Elle se désagrége en sphéroïdes, qui peuvent même être assez gros. Sa perte au feu est seulement de 2 p. 100. Après calcination, on y distingue des lamelles microscopiques de mica. Comme il arrive fréquemment dans la diorite, elle est traversée par un grand nombre de veinules *f* ayant au plus 1 décimètre d'épaisseur. Ces veinules sont formées, tantôt par une diorite plus grenue

(1) *Mémoires pour servir à l'hist. natur. des Pyrénées*, p. 183.

le calcaire ferrugineux que je me propose d'étudier.

Le nom d'ophite ayant été donné à des roches très-diverses, il est nécessaire de faire connaître d'abord la roche éruptive du mont Mouné.

Diorite. — C'est une diorite formée d'anorthose blanc et d'hornblende verte. Elle contient de la chaux carbonatée qui tapisse ses cavités. Des lamelles de fer oligiste spéculaire sont disséminées dans sa pâte, et se sont concentrées dans des veines qui la traversent. Sa perte au feu est de... 4,50 p. 100. Quand on la traite par l'acide chlorhydrique, elle donne un résidu de... 95,25.

Calcaire. — Le calcaire *c* dans lequel se trouve la diorite est blanc grisâtre, compacte, grenu, rugueux, légèrement saccharoïde. Il laisse dans l'acide un faible résidu de quartz blanc hyalin. Il est à l'état de marbre; mais comme il en est de même pour les autres calcaires de Bagnères, leur structure cristalline doit être attribuée à un métamorphisme normal.

Calcaire ferrugineux. — Lorsqu'on se rapproche de la diorite, on voit le calcaire devenir ferrugineux *m*. Il est brun jaunâtre, rugueux et celluleux. Ses cavités sont tapissées de petits cristaux de chaux carbonatée. Il contient des fragments de diorite qui le rendent bréchiforme. Ces fragments sont généralement plus ou moins altérés. Leur nombre et leur grosseur augmentent à mesure que l'on se rapproche de la diorite, et même à son contact on n'a plus qu'une brèche dioritique *t'* qui est cimentée par du calcaire.

Ce calcaire ferrugineux du mont Mouné renferme aussi des veines de quartz blanc hyalin, de l'argile et du fer oligiste spéculaire.

J'ai fait des essais du calcaire compacte (I) et du calcaire ferrugineux (II), surtout dans le but de rechercher comment y variait la magnésie.

	Mont Mouné.	
	I.	II.
Carbonate de chaux.	99,17	59,68
Carbonate de magnésie.	0,54	traces.
Oxyde de fer et alumine	traces.	11,87
Résidu insoluble.	0,83	28,45
	100,54	100,00

Il est évident que le calcaire ferrugineux au contact de la diorite ne renferme que des traces de magnésie. Cette magnésie ne peut être attribuée à la diorite, car il y en a une proportion un peu plus grande dans le calcaire compacte qui est à une certaine distance.

Comme ce résultat était en opposition avec les idées généralement reçues et avec ce qu'on est naturellement porté à croire d'après les caractères du calcaire ferrugineux, il m'a paru nécessaire de le vérifier dans d'autres gisements.

Pouzac. — L'abbé Palassou, qui a étudié avec tant de soin l'ophite des Pyrénées, a déjà fait connaître le gisement intéressant du pont de Pouzac (1): On y voit très-bien l'ophite qui forme de petits mamelons recouverts par le calcaire ferrugineux. La *fig.* 15, Pl. IV, représente un de ces mamelons qui se trouve sur la rive droite de l'Adour. Diorite et Calcaire.

Diorite. — L'ophite de Pouzac *t* est une diorite granitoïde qui, sur certains points, passe à l'état d'arène. Elle se désagrége en sphéroïdes, qui peuvent même être assez gros. Sa perte au feu est seulement de 2 p. 100. Après calcination, on y distingue des lamelles microscopiques de mica. Comme il arrive fréquemment dans la diorite, elle est traversée par un grand nombre de veinules *f* ayant au plus 1 décimètre d'épaisseur. Ces veinules sont formées, tantôt par une diorite plus grenue

(1) *Mémoires pour servir à l'hist. natur. des Pyrénées*, p. 163.

et plus feldspatique, tantôt par du carbonate de chaux, et quelquefois même par du carbonate de magnésie.

Calcaire ferrugineux. — Le mamelon de diorite est recouvert par le calcaire ferrugineux qu'on trouve si souvent à son contact dans les Pyrénées. Ce calcaire forme des couches irrégulières ou des rognons. Il est bréchiforme et caverneux. Il est pénétré de fer oligiste. Il renferme aussi de l'amphibole. Ses cavités sont d'ailleurs tapissées de cristaux de chaux carbonatée.

Le calcaire ferrugineux de Pouzac contient, en outre, des veines de roches argileuses et chloritiques. Ces roches ont une couleur verdâtre. Sur certains points elles se chargent très-fortement d'oxyde de fer. Elles deviennent très-celluleuses et comme cariées; leurs cavités sont également tapissées de chaux carbonatée et de fer spéculaire.

— J'ai fait l'essai d'un échantillon du calcaire ferrugineux qui a été pris un peu au-dessus du contact.

Il avait une couleur jaune clair. Il était cristallin, caverneux, non bréchiforme. Il contenait du fer oligiste, soit dans sa masse, soit dans ses cavités. Traité par l'acide chlorhydrique faible, il a laissé un résidu brunâtre, argileux, formé de petits grains arrondis, comme ceux des roches sédimentaires. On y distinguait des lamelles de chlorite, des débris feldspathiques, de l'amphibole, du quartz, du fer oligiste.

Calcaire ferrugineux de Pouzac.

Carbonate de chaux	90,43
Carbonate de magnésie.	traces.
Résidu argilo-sableux.	9,57
Somme.	100,00

La couleur jaunâtre de ce calcaire est due à un peu de carbonate de fer qui est décomposé; mais il y en a très-peu et moins de 1 p. 100. Il n'y a d'ailleurs qu'une trace

de carbonate de magnésie. Par conséquent, le gisement de Pouzac conduit aux mêmes conclusions que celui du mont Mouné.

Uzer. — Sur la route de Bagnères à Uzer, dans un ravin près du chemin d'en haut, et à 400 mètres de distance au sud du pont sur le Luz, M. Viquesnel a observé un dyke de diorite ayant 50 mètres d'épaisseur qui se trouve en contact avec un calcaire (Pl. IV, *fig.* 16). Diorite et Dolomie.

Diorite. — La diorite est bien cristalline dans la partie centrale, mais elle devient grenue près du contact. J'ai examiné un échantillon de cette dernière variété. Sa couleur est vert grisâtre. On y distingue des aiguilles fines et entre-croisées d'hornblende, qui sont imprégnées de lamelles de mica verdâtre. Sa perte au feu est de... 4 p. 100.

Brèche dolomitique. — La roche calcaire en contact immédiat avec la diorite est une brèche bien stratifiée ayant 1m,5 à 2 mètres d'épaisseur. Elle est formée par une dolomie gris jaunâtre, caverneuse et rude au toucher, qui s'égrène très-facilement entre les doigts. Une multitude de veines blanches la traversent dans tous les sens : ces veines contiennent de la chaux carbonatée blanche et spathique, de la dolomie cristallisée en rhomboèdres, ainsi que du fer oligiste spéculaire. Mise dans l'acide, la brèche laisse un résidu brunâtre, à grains fins, anguleux, qui proviennent de la trituration de diverses roches, et dans lesquels on distingue un peu de quartz.

J'ai fait des essais de ces roches calcaires qui sont près de la diorite d'Uzer.

I. Brèche dolomitique prise au contact immédiat de la diorite.

II. Calcaire pris à une distance de 2 mètres. Il a une couleur grisâtre ; il est translucide et légèrement cristallin. Sa cassure est esquilleuse. Quelques veines de chaux carbonatée avec fer

oligiste le traversent encore. Il laisse dans l'acide un résidu blanc, essentiellement formé de quartz, et il donne avec l'acide chlorhydrique une odeur très-sensible d'hydrogène sulfuré : cette particularité est due à de la pyrite magnétique.

	Usor.	
	I.	II.
Carbonate de chaux.	61,57	76,52
Carbonate de magnésie.	15,99	traces.
Oxyde de fer et un peu d'alumine.	5,35	6,45
Résidu.	28,68	14,02
Eau et perte	5,41	2,33
	100,00	99,32

Nous devons constater ici que la brèche au contact de la diorite est dolomitique, ou au moins magnésienne, tandis que le calcaire qui est à 2 mètres ne contient que des traces de magnésie. Mais il faut remarquer que la quantité de magnésie ne va pas en diminuant successivement à mesure qu'on s'éloigne de la diorite; elle disparaît au contraire presque subitement, à la distance de 2 mètres. Il est donc visible que les deux couches calcaires ne sont pas les mêmes, et cette circonstance seule suffit pour expliquer la différence qu'elles présentent dans leur teneur en magnésie.

— En résumé, les recherches précédentes montrent que, contrairement à l'opinion reçue, l'ophite des Pyrénées n'a pas changé en dolomie le calcaire qui se trouve à son contact (1).

S'il arrive quelquefois que ce calcaire soit magnésien ou dolomitique, c'est qu'il l'était déjà avant l'éruption.

Toutefois le calcaire au contact de l'ophite a généralement été métamorphosé. Il est souvent carié, celluleux et surtout bréchiforme. Les interstices entre ses fragments ont été remplis par de la chaux carbonatée spathique et par du fer oligiste.

Quand ce calcaire est magnésien, ses interstices sont

(1) *Annales des mines*, 3e série, t. I, p. 22 et t. II, p. 49, etc.

aussi tapissés de cristaux de dolomie, qui proviennent alors d'une sécrétion de la roche encaissante.

Le fer oligiste paraît spécialement caractériser le métamorphisme de l'ophite ; il ne s'observe pas seulement dans les veines qui serpentent dans le calcaire et près du contact, mais il imprègne encore le calcaire lui-même, et on le retrouve aussi dans l'ophite.

Cependant les effets produits par l'ophite sont très-difficiles à distinguer d'autres effets de métamorphisme auxquels ils sont superposés. Car, tout le calcaire qui entoure les Pyrénées a subi le métamorphisme qui s'observe ordinairement au voisinage des roches granitiques. Il a pris presque partout une structure cristalline. On comprend donc qu'au moment de sa cristallisation, divers minéraux et le fer oligiste lui-même, aient pu s'y développer. On y trouve d'ailleurs fréquemment de l'amphibole, de la couzeranite et de la chlorite. Mais ces derniers minéraux se sont développés sur de grandes étendues, et par cela même ils doivent être attribués au métamorphisme normal.

§ 67. *Quartz.* Diorite et Calcaire.

— Parmi les substances qui se trouvent près du contact de l'ophite des Pyrénées avec le calcaire ferrugineux, je signalerai spécialement une roche cariée qui est extrêmement bizarre.

Elle s'observe très-bien dans le calcaire ferrugineux du pont de Pouzac (Pl. IV, *fig.* 15).

Sa couleur est jaunâtre. Elle est très-celluleuse, à cavités aiguës et irrégulières. Par suite, on comprend qu'elle soit très-légère; et en effet sa densité, même quand elle est pilée, est seulement de... 1,681 : aussi peut-elle quelquefois flotter sur l'eau. On serait tenté de la prendre pour de la pierre ponce. Elle ne perd rien par calcination. Elle ne s'attaque pas, lorsqu'on la fait bouillir avec une dissolution concentrée de po-

tasse. Quand on la fond avec le carbonate de soude, et qu'on la reprend ensuite par l'acide chlorhydrique, on obtient une gelée siliceuse, extrêmement volumineuse et abondante. Elle renferme environ 99 de silice. On y trouve aussi de l'oxyde de fer et même un peu de chaux, ainsi que de la magnésie; mais ces matières proviennent de mélanges.

La roche cariée de Pouzac est donc une meulière spongieuse, quelquefois assez légère pour devenir nectique : elle diffère du tuf siliceux (*kiesel sinter*, *siliceous sinter*), en ce qu'elle est complétement anhydre. C'est une variété de quartz celluleux.

La même roche se retrouve très-fréquemment dans les environs de Bagnères, notamment au mont Mouné, sur la route d'Uzer à Gerde. Elle existe aussi dans la vallée d'Aspe, et, d'après Palassou, les habitants lui donnent le nom d'*éponge*.

Une roche assez semblable à la précédente, se rencontre encore dans un autre gisement, aux environs du bois Vicomte, près de Saint-Yriex.

Le quartz celluleux des Pyrénées forme des amas dans la brèche du calcaire ferrugineux à laquelle il passe. Il est vraisemblable qu'il résulte de dépôts formés par des eaux chargées de silice; le calcaire qui l'a accompagné a été détruit, soit par des infiltrations d'eau, soit par les dégagements de vapeurs d'acide chlorhydrique, au moment peut-être où se sont formés les cristaux de fer oligiste spéculaire qui imprègnent les roches voisines.

§ 68. *Zéolithes.* — Je m'occupe maintenant des roches calcaires dans lesquelles il s'est développé des hydrosilicates et notamment des zéolithes.

Trapp et Calcaire carbonifère. **Dundalk.** — Dans les environs de Dundalk, en Irlande, le calcaire carbonifère (*mountain limestone*) est souvent traversé par des filons de trapp.

C'est ce que l'on observe surtout très-bien sur le chemin de fer entre Dundalk et Enniskillen. La *fig.* 15, Pl. VI, montre le gisement d'un gros filon de trapp dans le calcaire carbonifère. Ce filon présente une structure prismatique près de ses salbandes, et au contraire une structure sphéroïdale dans sa partie moyenne (1).

J'ai examiné le calcaire carbonifère pris au contact du trapp dans la carrière de Sir John Mac Neill, aux environs de Dundalk.

Le trapp qui traverse ce calcaire a une couleur verte et une structure amygdaloïde. Il contient de nombreuses amandes qui sont complétement remplies par de la chaux carbonatée et par une zéolithe radiée.

Le calcaire carbonifère conserve sa couleur noire, même au contact du trapp. Il n'est pas cristallin, et ses fossiles sont encore facilement reconnaissables. On y distingue à la loupe des nodules microscopiques blanchâtres qui paraissent être formés par une zéolithe. Un essai m'a donné :

Calcaire carbonifère de Dundalk.

Carbonate de chaux	73,55
Oxyde de fer	1,45
Matières charboneuses	0,80
Résidu insoluble	22,70
Eau	1,50
	100,00

Le résidu insoluble (22,70) a été obtenu en traitant le calcaire par l'acide nitrique faible ; il est formé de quartz hyalin en grains arrondis et roulés, de feldspath orthose en lamelles blanches et d'un peu d'argile. Lorsqu'on le fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique, on

(1) B. Jukes. *Popular geology*, p. 200.

dissout seulement 1,60 d'alumine et d'oxyde de fer, ainsi qu'une trace de chaux.

L'action exercée par le trapp sur le calcaire carbonifère de Dundalk est donc très-faible ; car le quartz, l'argile, le feldspath se sont déposés en même temps que le calcaire et ne se sont pas développés par métamorphisme. Je ferai remarquer aussi que ce calcaire n'est pas devenu magnésien. Ses caractères n'ont même presque pas changé. Du reste, la petite quantité d'eau qui s'y trouve montre qu'il renferme très-peu de zéolithes.

— Dans les gisements que je vais décrire maintenant les zéolithes sont très-faciles à reconnaître, et cependant il peut arriver que les calcaires qui les contiennent soient à peine métamorphosés ; mais aussi, ces calcaires sont celluleux, en sorte que les zéolithes ont pu se développer en beaux cristaux dans leurs cavités.

Trapp et Craie.

Dunluce Castle. — A Dunluce Castle, dans le comté d'Antrim, la craie est recouverte par une nappe trappéenne comme dans tout le nord-est de l'Irlande. Or, M. Boué a constaté dans ce gisement, que les zéolithes des roches trappéennes pénètrent jusque dans les fentes de la craie qui se trouve au-dessous (1).

— C'est surtout le calcaire lacustre de l'Auvergne qui contient fréquemment des zéolithes : il en renferme, par exemple, quand il est voisin du basalte, et spécialement quand il est dans les tufs basaltiques.

Basalte et Calcaire lacustre.

Puy de la Piquette. — Ainsi, au Puy de la Piquette, un tuf basaltique enveloppe des fragments du calcaire lacustre de la Limagne qui sont très-facilement reconnaissables et dans lesquels on distingue encore une grande quantité de lymnées (Pl. IV, *fig.* 4). Ce calcaire est tantôt terreux, tantôt compacte ; quelquefois il est très-dur et

(1) Boué, *Voyage en Écosse*, p. 380.

traversé par des veines siliceuses. Il est complétement pénétré de mésotype qui s'est développée jusque dans l'intérieur des lymnées. Une analyse de M. J. Liebig a d'ailleurs constaté que cette mésotype contient de la chaux (1).

Puy de Marman. — Le tuf basaltique du Puy de Marman renferme aussi de gros blocs de calcaire lacustre celluleux. **Basalte et Calcaire lacustre.**

Or, au voisinage d'un filon de basalte, ce calcaire est devenu plus ou moins lithoïde; en même temps ses cavités ont été tapissées par des cristaux de stilbite, de chabasie et de dolomie (2).

J'ai examiné un échantillon de ce calcaire zéolithique du Puy de Marman. Il avait une couleur brun noirâtre, et sa structure n'était pas cristalline. Calciné, il a donné une chaux blanche, et sa perte s'est élevée à... 46,50. Dans l'acide il n'a laissé qu'un résidu extrêmement faible qui pesait seulement quelques millièmes.

Il est donc évident qu'il n'a pas été silicifié, comme on l'admet ordinairement; mais ses parcelles calcaires se sont simplement cimentées et, en même temps, elles ont été imprégnées par une petite quantité de zéolithes.

— Il importe de remarquer que les calcaires de l'Auvergne dans lesquels il s'est développé des zéolithes n'ont pas pris la structure cristalline. Ils ont généraleement conservé leurs matières organiques ou bitumineuses, ainsi que leur couleur grise, brune ou noirâtre. On y reconnaît encore très-bien la trace des indusies, des lymnées et des fossiles d'eau douce; par conséquent une température élevée n'est aucunement nécessaire à la formation des zéolithes.

(1) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes*, p. 21. — Kleinschrod, *Geologische Uebersicht eines Theils der Auvergne*. Hertha., t. XIV, p. 24. — Von Leonhard: *Die Basaltgebilde*, t. I, p. 227.

(2) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes*, etc., p. 24.

Par cela même que les zéolithes s'observent dans des calcaires qui se dissolvent sans laisser de résidu, on voit aussi que, contrairement à l'opinion de certains auteurs, ces minéraux ne proviennent pas toujours de substances immédiatement fournies par la roche dans les cavités de laquelle ils ont cristallisé. Il faut reconnaître cependant qu'ils sont beaucoup plus rares dans les roches calcaires que dans les roches siliceuses et argileuses.

§ 69. *Terre verte.* — La terre verte se forme assez souvent au contact des roches trappéennes et des roches calcaires ; quelquefois elle provient du trapp lui-même ; le plus souvent, au contraire, elle s'est développée seulement lorsque les roches calcaires sont argileuses. Comme on la retrouve d'ailleurs dans toutes les roches qui sont argileuses, elle doit surtout être attribuée à la présence de l'argile ou de l'argilithe ; et en effet, elle est très-fréquente dans le *calcaire argileux.*

Trapp et Craie. **Belfast.**— A Cave-Hill, près de Belfast, il est très-facile d'observer le contact des filons de trapp avec la craie.

Près de ces filons, la craie blanche à silex contenant le *belemnites mucronatus* et la *terebratula carnea*, est devenue très-compacte et rude au toucher. Quelquefois aussi elle est légèrement cristalline, mais beaucoup moins qu'à Larne. Elle est sonore et à cassure esquilleuse. En outre, elle prend une couleur blanc grisâtre, et même, dans la carrière la plus éloignée de Belfast, cette couleur devient grise ou vert bleuâtre.

J'ai examiné cette craie cristalline et vert bleuâtre. J'ai trouvé qu'elle laisse dans l'acide faible un résidu vert qui pèse seulement... 1,92. Ce résidu contient 6,25 d'eau sur 100 parties. Il me paraît formé par un hydrosilicate tel que celui qui s'est fréquemment développé dans les calcaires argileux près de leur contact avec le trapp. Du reste, un hydrosilicate vert s'observe aussi

dans la craie non cristalline qui est en contact avec le trapp des environs de Belfast. Il s'y montre en petites veinules, et alors il paraît provenir du trapp.

On voit donc dès à présent que, dans certaines circonstances, la craie a été verdie. Il s'y est alors développé une terre verte qui provient bien du trapp, mais dont la présence doit surtout être attribuée à un peu d'argile disséminée dans la craie; c'est d'ailleurs ce qui va devenir tout à fait évident en étudiant le métamorphisme exercé par les roches trappéennes sur des calcaires très-argileux comme ceux de l'Ardèche.

Ardèche. — Le département de l'Ardèche offre, en effet, plusieurs gisements classiques pour l'étude du métamorphisme de contact, et il est très-facile d'y observer l'action des roches basaltiques sur le calcaire argileux.

Ces roches se sont fait jour à travers les terrains stratifiés; elles y forment des filons par lesquels elles se sont épanchées, recouvrant de nappes étendues le terrain jurassique et le terrain crétacé inférieur.

Sur la route de Privas à Aubenas, au col de l'Escrinet, les calcaires marneux de l'étage oxfordien sont traversés par des filons de basalte. Le filon principal qui paraît former une ancienne bouche de déversement a plus de 20 mètres de puissance. Il se relie immédiatement avec des nappes basaltiques qui se divisent en prismes verticaux; ces nappes recouvrent les plateaux jurassiques, et s'inclinent légèrement vers le Rhône.

Près de leur contact avec le basalte, et sur une étendue de quelques décimètres, les marnes calcaires de l'Escrinet ont été légèrement modifiées. Elles ont perdu leur schistosité. Elles sont devenues cassantes, dures, compactes, lithoïdes, et on les a même comparées à une argile cuite. Aussi dans les collections sont-elles

généralement désignées sous le nom de *thermantide* (1).

Basalte et Calcaire marneux.

Villeneuve-de-Berg. — Ces caractères sont encore plus prononcés à la montagne de la Chamarelle, près de Villeneuve-de-Berg, en Vivarais.

Au contact d'un filon de basalte qu'on peut suivre sur plus de 600 mètres d'étendue, on trouve, en effet, un calcaire jurassique marneux, qui est également considéré comme *thermantide*. Il est de toute évidence que ce calcaire marneux a été métamorphosé; en conséquence, je l'ai soumis à quelques essais afin de connaître quelles modifications il avait éprouvées.

Le basalte qui a produit le métamorphisme est bien caractérisé, et l'on y distingue facilement des grains de péridot.

Le calcaire marneux métamorphique est intimement soudé à ce basalte, avec lequel il se trouve en contact. Il a pris une couleur grise tirant sur le vert. Sa structure est un peu cristalline. Il est sonore, dur, schisteux, fragile, à cassure esquilleuse. Sa densité est de... 2,595. Lorsqu'on examine ce calcaire à la loupe, on voit que la substance gris verdâtre, à laquelle il doit sa couleur, s'y trouve disséminée irrégulièrement, et que sur certains points elle paraît avoir rempli des cellules microscopiques (Pl. IV, *fig.* 22).

Quelquefois, d'ailleurs, le calcaire est pénétré par le basalte lui-même qui s'y répand en veines très-minces.

Quand on le calcine, il change d'aspect et devient gris blanchâtre; en même temps il perd 3,33 d'eau. Il est visible qu'il n'a pas subi antérieurement l'action d'une chaleur très-forte.

---

(1) Dufrénoy et E. de Beaumont : *Explication de la carte géologique de France*, II, p. 723, 724. — Lory. *Bulletin de la Société géologique*, 2ᵉ série, t. II, p. 760. Réunion extraordinaire à Valence.

Lorsqu'on le traite par un acide faible, il fait une vive effervescence. Son carbonate est du carbonate de chaux et il ne renferme qu'une très-petite quantité de carbonate de fer ou de magnésie. Il dégage un peu d'hydrogène sulfuré par l'acide chlorhydrique; il est donc probable qu'il contient de la pyrite magnétique.

La matière insoluble dans l'acide faible est une argile colorée par une terre verte. Elle se désagrége complétement dans l'acide, dans lequel elle forme une sorte de boue; par conséquent elle n'a pas pu contribuer à cimenter le calcaire qui est seulement devenu compacte et lithoïde par le développement de la structure cristalline de sa chaux carbonatée.

Quand on fait bouillir le résidu argileux vert noirâtre avec de l'acide chlorhydrique, il s'attaque, se décolore, et son poids se réduit de 27,92 à 18,00 p. 100. La liqueur acide renferme d'ailleurs du fer, de l'alumine, de la magnésie, des alcalis; c'est-à-dire les éléments de la terre verte.

Calcaire marneux de Villeneuve de Berg.

Carbonate de chaux.	68,78
Résidu argileux vert noirâtre.	27,92
Eau.	3,33
Somme. . . .	100,03

Si l'on cherche à se rendre compte du métamorphisme éprouvé par le calcaire marneux au contact du basalte de Villeneuve-de-Berg, on voit que ce calcaire est devenu compacte, sonore et légèrement cristallin. En même temps il a été imprégné par une terre verte qui se laisse facilement attaquer par l'acide, et qui ne paraît pas différer de celle qui colore le basalte lui-même (1).

(1) Voir pour la composition de la terre verte : *Bulletin de la soc. géol.*, 2e s., t. II, p. 153. *Ann. des mines*, 4e s., t. XIV. p. 74.

La proportion d'eau que renferme le résidu argileux est assez faible, et il est probable qu'il y a eu élévation de température. Toutefois l'argile de ce calcaire marneux n'a perdu qu'une partie de son eau; elle n'a pas été agglutinée, puisqu'elle donne un résidu complétement boueux lorsqu'on traite le calcaire par un acide; par conséquent, on ne peut admettre que le calcaire marneux de Villeneuve-de-Berg ait été soumis à une fusion ignée comme la thermantide.

§ 70. *Silicates.*

— Le métamorphisme exercé par les roches trappéennes sur les roches calcaires devient très-complexe dans les gisements que nous allons étudier maintenant. En effet, l'action de la roche éruptive sur la roche encaissante est assez énergique pour faire cristalliser, non-seulement le calcaire, mais encore divers silicates. Ces silicates se forment aux dépens des matières argileuses que renferment les roches calcaires. Ils sont essentiellement calcaires ou magnésiens, mais ils contiennent aussi de l'alumine et de l'oxyde de fer. Les plus fréquents sont : le pyroxène, le grenat, l'idocrase, la gehlénite, l'épidote, etc. Je me contenterai de citer quelques exemples du gisement de ces silicates.

Augite. Basalte et Calcaire.

Bömches Kuppel. — Le basalte de Bömches Kuppel empâte beaucoup de fragments calcaires appartenant à l'étage inférieur du muschelkalk. Or, M. Gutberlet a observé dans ces fragments des cristaux d'augite qui sont accompagnés par une matière verte, par une zéolithe, et par des grains microscopiques de fer oxydulé (1).

Gehlenite, Idocrase. Hypérite et Calcaire.

Monzoni. — L'un des gisements dans lequel le métamorphisme de contact s'est exercé avec le plus d'intensité est assurément celui de Monzoni, près de la vallée de la Fassa, dans le sud du Tyrol.

(1) Gutberlet. *Neues Jahrbuch*, 1847, p. 325.

La roche éruptive (*Monzon Syenit*) est une hypérite qui contient des cristaux d'augite, de mica ferro-magnésien et de feldspath du sixième système. Elle se présente en masse informe. Elle a traversé un calcaire jurassique qui est compacte, gris et très-régulièrement stratifié. A mesure qu'on se rapproche du contact, ce calcaire devient schisteux et il prend en même temps une structure cristalline grenue. De plus, il perd peu à peu sa couleur grise. Enfin, au contact de l'hypérite, on a une masse de calcaire bleuâtre, lamelleux et à très-gros cristaux. Ce calcaire renferme une énorme quantité d'idocrase et surtout de gehlénite (1). En outre, de l'épidote, du grenat et de l'idocrase se montrent aussi dans l'hypérite elle-même.

Il n'est pas nécessaire de nous étendre plus longuement sur le métamorphisme qui a développé des silicates dans les roches calcaires; car les minéraux qui le caractérisent sont précisément ceux qui se forment dans le métamorphisme normal (§ 30).

§ 71. *Minéraux des gîtes métallifères.*

—J'arrive maintenant au métamorphisme dans lequel les roches calcaires qui sont en contact avec les roches trappéennes ont été pénétrées par les minéraux des gîtes métallifères.

Ces minéraux sont très-nombreux; mais les plus habituels sont : le quartz et ses variétés, les carbonates, les sulfates de baryte et de strontiane, la chaux fluatée, et enfin les minerais métalliques.

Les roches calcaires dans lesquelles on rencontre les minéraux des gîtes métallifères peuvent être à peu près à l'état normal. Le plus souvent, au contraire, elles sont fortement altérées; alors, indépendamment des

---

(1) Cours de géologie fait à l'École des Mines par M. Élie de Beaumont.

minéraux des gîtes métallifères, il s'y est encore formé les divers minéraux que nous avons déjà décrits. Lors donc que le métamorphisme a été très-énergique, on ne doit pas s'étonner de trouver réunis tous les minéraux qui se sont développés dans les roches calcaires métamorphiques. Quelquefois aussi, il y a autour des roches trappéennes une sorte de salebande bréchiforme, dont l'origine et la composition sont très-complexes.

Il importe de rendre ces faits sensibles par quelques exemples.

Essey. — La côte d'Essey, dans le département de la Meurthe, est une montagne basaltique entièrement isolée qui a surgi au milieu des roches triasiques. Elle présente des phénomènes de métamorphisme d'un grand intérêt, qui ont surtout été étudiés par MM. Levallois, Lebrun et Carrière (1).

La roche éruptive qui forme la côte d'Essey est un trapp contenant du péridot; on peut donc l'appeler un basalte. Sa densité varie de 3,06 à 3,18. Des zéolithes, notamment la mésotype et la natrolithe tapissent fréquemment ses fissures et y forment des amandes.

A la partie supérieure du cône, et sur ses flancs, le basalte est recouvert par un tuf basaltique verdâtre et par des brèches. Ces brèches, dont la grosseur est très-variable, se sont formées, lors de l'éruption, aux dépens du basalte lui-même et des roches qu'il a traversées. Les minéraux qui leur servent de ciment ou qui ont cristallisé dans leurs cavités sont la mésotype en général,

(1) Levallois. Observations sur la roche ignée d'Essey-la-Côte; *Mémoires de l'Académie de Nancy* 1846 et *Annales des mines* 4e série, p. 666. Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe. — Lebrun ; Nouvelles explorations géologiques à Essey-la-Côte.

les zéolithes, la calcédoine, la chaux carbonatée, la baryte sulfatée, la strontiane sulfatée, la chaux sulfatée, les oxydes de fer et de manganèse.

Je ne parlerai ici que du métamorphisme produit sur les roches calcaires, et je l'étudierai d'abord sur celles dans lesquelles il est le plus faible.

Basalte et Calcaire magnésien.

— A Haillanville et à Damas-aux-Bois, il existe des carrières ouvertes dans le muschelkalk supérieur. Ce muschelkalk, qui est très-facilement reconnaissable par ses fossiles, a déjà subi un léger métamorphisme.

En effet, il se divise en prismes perpendiculaires à la stratification. De plus, il renferme des cavités arrondies, dans lesquelles il y a des rhomboèdres de dolomie, de la chaux carbonatée, quelquefois du quartz, de la blende, de la pyrite de fer, de la pyrite de cuivre et de la baryte sulfatée.

J'ai fait un essai de ce muschelkalk d'Haillanville qui a pris la structure prismatique. Il contient... 3,25 d'eau et de matières bitumineuses, ainsi que... 2,92 d'une argile ocreuse très-fine. Il est rude au toucher, et j'ai constaté qu'il renferme beaucoup de magnésie; la présence de rhomboèdres de dolomie dans ses cavités s'explique donc très-facilement. Cette dolomie cristallisée a, d'ailleurs, un gisement tout à fait analogue à celle qui, au contact de la diorite, a rempli des fissures dans le calcaire magnésien d'Uzer (page 201).

A Essey, la formation de la dolomie spathique et des minéraux des filons qui lui sont associés, doit sans doute être attribuée à une infiltration d'eau thermale qui aurait accompagné l'éruption du basalte.

Basalte et Calcaire.

— Si l'on se rapproche maintenant du massif basaltique de la côte d'Essey, et qu'on explore les brèches qui se trouvent à son contact, le métamorphisme devient beaucoup plus évident. Car les calcaires, même lorsqu'ils sont marneux, ont pris une structure plus

ou moins cristalline. Dans le muschelkalk, les moules laissés par les fossiles ont été remplis par une chaux carbonatée, grenue et bleuâtre. Quelquefois même le têt de certains fossiles liasiques a été complétement remplacé par de la mésotype (1).

Les fragments de calcaire sont d'ailleurs cimentés et pénétrés par les minéraux des gîtes métallifères dont l'existence a déjà été signalée dans les brèches qui sont en contact avec le basalte. Il y a aussi fréquemment du fer oxydulé, et, comme on vient de le voir, des zéolithes. Ainsi, on trouve réunis les zéolithes et les minéraux des gîtes métallifères.

Le calcaire métamorphique d'Essey paraît, d'après l'ensemble de ses caractères, résulter d'une action aqueuse combinée avec une action ignée. La suite de ce mémoire nous fera voir de plus en plus que, non-seulement ces actions ne s'excluent pas l'une l'autre, mais qu'elles sont, au contraire, fréquemment réunies.

§ 72. *Salebande.* — La roche trappéenne n'est pas toujours en contact immédiat avec le calcaire métamorphique; il importe danc d'étudier la salebande qui sépare les deux roches.

Généralement cette salebande se réduit à quelques millimètres d'épaisseur et elle est simplement formée par de la chaux carbonatée spathique ou fibreuse. Mais quelquefois aussi elle atteint de plus grandes dimensions, et alors son étude présente quelque intérêt.

Basalte et Marne argileuse. **Privas.** — Je décrirai d'abord une salebande interposée entre un basalte et une marne très-argileuse. Cette marne provient du terrain jurassique des environs de Privas, probablement du col de l'Escrinet (p. 209).

Basalte. — La roche trappéenne qui a métamorphosé la marne est un basalte qui s'y montre en filons. Il a

(1) Lebrun. *Nouvelles explorations géol. à Essey-la-Côte.*

une couleur noirâtre, et l'on distingue très-bien son péridot. J'ai constaté, d'ailleurs, qu'il contient... 1,10 d'acide carbonique et... 3,70 d'eau.

Salebande. — La marne traversée par le filon de basalte en est séparée par une salebande. Cette salebande *m* a une épaisseur de quelques centimètres et elle est limitée par une ligne brisée (Pl. IV, *fig.* 19). Par ses caractères, elle participe à la fois du basalte et de la marne, en se rapprochant plus de cette dernière.

Sa couleur est le vert clair tirant sur le vert-olive, quelquefois sur le brun. Sa densité est... 2,552. Elle s'altère rapidement, en sorte que dans les échantillons exposés à l'action de l'air, elle se dessine en creux entre la marne et le basalte. Cette particularité tient à ce qu'elle renferme plus de carbonates que la marne elle-même, comme le montrent les analyses de ces deux roches (p. 218).

Marne argileuse. — Quant à la marne argileuse métamorphique, elle présente des caractères qui, au premier abord, portent à la rapprocher des calcaires nommés hermantides (§ 69).

Elle est gris verdâtre, dure, sonore, à cassure esquilleuse. Sa couleur devient blanchâtre par l'altération atmosphérique. Sa densité est... 2,410; on voit qu'elle est donc plus petite que celle de la salebande.

Lorsqu'on l'examine à la loupe, on y distingue une multitude de cavités irrégulières qui sont remplies par de la terre verte, absolument comme dans la marne métamorphique de Villeneuve-de-Berg (p. 210). La forme de ces cavités est donnée par la *fig.* 22, Pl. IV; elles apparaissent surtout très-bien dans les échantillons exposés à l'action de l'air. La terre verte y prend d'abord une couleur jaune de rouille, puis elle est complétement détruite et disparaît. Les cavités atteignent d'ailleurs

plusieurs millimètres, et comme elles ont une couleur plus foncée que celle de la roche, leurs contours se distinguent assez facilement. Quelquefois elles sont entourées par une auréole blanche (Pl. IV, *fig.* 22).

Il existe encore dans la roche d'autres cavités qui sont beaucoup plus grandes, puisqu'elles ont plusieurs centimètres. Elles sont régulières et paraissent provenir de moules de fossiles. Leur structure et les minéraux qu'elles renferment rappellent complétement les amygdaloïdes. Ainsi, dans l'une d'elles, représentée Pl. IV, *fig.* 20, j'ai observé des zones concentriques de calcédoine blanc-grisâtre, puis de la chaux carbonatée jaunâtre par-dessus laquelle se trouvait une zéolithe qui était confusément cristallisée en aiguilles.

— J'ai fait des essais comparatifs de cette marne argileuse et de la salebande en les traitant par l'acide chlorhydrique. Après avoir dissous le carbonate, j'ai attaqué le résidu par l'acide bouillant.

La marne a laissé un squelette formé par une espèce d'argile durcie, blanc grisâtre, qui était cariée et qui montrait quelques petits nodules de calcédoine.

Le résidu de la salebande a perdu sa couleur verte par l'ébullition dans l'acide chlorhydrique; mais, de même que le résidu de la marne, il n'a pu être complétement attaqué.

Voici quels sont les résultats obtenus :

	Marne argileuse.	*Salebande.*	
Résidu inattaqué	56,80	41,20	19,30
Silice			21,90
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie	6,74		12,30
Chaux	17,80		24,43
Soude	0,79	(Diff.)	0,83
Potasse	0,39		
Eau	6,06		4,17
Acide carbonique	12,44		17,07
Somme	101,02		100,00

La marne métamorphique renferme moins d'acide carbonique que la salebande : en effet, si l'on représente par 1 l'acide carbonique de la marne, celui de la salebande est de 1,37. Il y donc a eu concentration de carbonate dans la salebande. Ce résultat est remarquable et il pouvait jusqu'à un certain point être prévu; car, la salebande a dû être formée par le remplissage d'un vide irrégulier, qui serait resté libre entre la marne et le basalte.

Dans les deux roches, le carbonate est d'ailleurs presque entièrement à base de chaux; cependant, vers la fin de l'attaque, il se décompose assez difficilement, surtout celui de la salebande : par suite, il y a aussi du carbonate de fer et de magnésie.

Une petite partie de la chaux est combinée avec la silice : il est possible qu'elle entre dans une zéolithe.

Enfin, la quantité d'eau augmente avec la proportion du résidu insoluble.

—J'ai déterminé par un essai la composition du résidu vert grisâtre qui est laissé par la salebande, lorsqu'on la met en digestion avec de l'acide chlorhydrique faible. J'ai trouvé dans une attaque au carbonate de soude :

Résidu insoluble laissé par la salebande.

Silice.	66,97
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie. . . .	16,16
Chaux.	4,94
Alcalis et perte.	3,15
Eau.	8,78
Somme.	100,00

La salebande a une couleur verte qui rappelle celle du basalte, mais on voit qu'elle diffère complétement de cette roche par sa composition.

La grande quantité de silice qu'on y trouve semblerait indiquer que, comme la marne, elle a été pénétrée de calcédoine. Sa composition est d'ailleurs assez complexe.

En résumé, la salebande qui sépare la marne argileuse métamorphique du basalte qui l'a traversée, contient plus de carbonates que la marne elle-même. Elle est imprégnée par une terre verte, comme celle qui est disséminée dans le basalte; aussi, au premier abord, paraît-elle se rapprocher de cette dernière roche; mais elle n'est pas feldspathique, et sa composition montre, au contraire, qu'elle se rapproche beaucoup plus de la marne.

Basalte et Craie.

Woodburn. — J'ai cité déjà les environs de Woodburn qui présentent un grand intérêt pour l'étude du métamorphisme exercé par le trapp sur le calcaire. Il est nécessaire d'y revenir encore pour faire connaître un gisement dans lequel le métamorphisme a été très-énergique et a donné lieu à une salebande très-remarquable.

Le ravin dans lequel le ruisseau de Woodburn a creusé son lit fait voir dans un escarpement un grand dyke de trapp, qui se relie avec la nappe trappéenne formant la surface du sol (Pl. IV, *fig.* 28). Ce dyke n'a pas moins de 15 mètres de puissance, et à une hauteur de 20 mètres au-dessus du ruisseau, il s'étale en nappe prismatique. Il traverse successivement les marnes rouges du *new red sandstone*, les marnes bleues du lias, le *greensand*, et enfin la craie par-dessus laquelle il s'épanche.

Si l'on considère le trapp lui-même, il ne présente rien de bien particulier. Cependant j'ai remarqué que ses fissures sont quelquefois tapissées de fer oxydulé, cristallisé en octaèdres, qui est recouvert par de la mésotype radiée. Ce trapp est aussi très-amygdalaire près de son contact avec la craie.

Il a d'ailleurs modifié les différentes couches qu'il a traversées; mais c'est surtout à la surface de la craie, et près de la jonction du dyke avec la nappe de trapp,

que le métamorphisme s'est exercé avec une grande intensité.

D'abord la craie a pris une structure cristalline grenue et une couleur blanc grisâtre. C'est conforme à ce qu'on observe généralement au contact des dykes de trapp qui sont puissants. Il importe seulement de remarquer ici que la craie est cristalline, même sous la nappe de trapp. De plus, elle est séparée de cette nappe par une zone de contact, ou par une salebande.

Cette salebande a une épaisseur qui varie depuis quelques décimètres jusqu'à 1 mètre. Elle présente un agrégat bréchiforme et très-confus composé de différentes substances minérales.

Je signalerai d'abord la chaux carbonatée bleuâtre, spathique, à grandes lamelles; elle se montre en rognons ou en amas et elle est limitée au contact du trapp. Le plus souvent elle est intimement pénétrée de zéolithes fibreuses qui ont cristallisé dans les interstices laissés entre ses cristaux et qui se sont évidemment formées en même temps. Elle est ordinairement bien distincte de la chaux carbonatée grenue, qui provient de la cristallisation de la craie; elle en est séparée d'une manière très-nette, par une surface arrondie qui semble avoir été corrodée; elle a visiblement une autre origine (Pl. IV, *fig.* 30).

La chaux carbonatée bleuâtre et spathique, lorsqu'elle s'observe au contact ou dans le voisinage des filons de trapp, est toujours l'indice d'un métamorphisme très-énergique : et on se rappelle qu'à Monzoni nous avons déjà eu l'occasion de signaler sa présence.

Dans la salebande on trouve, du reste, un hydrosilicate magnésien, dont l'analyse sera donnée plus loin, et qui appartient à la saponite de M. Dana. Je signalerai également divers zéolithes, notamment la méso-

type, et surtout une zéolithe fibreuse et asbestiforme, le *mountain leather.*

Il y aussi beaucoup de silex. Ces silex ont pris une couleur vert jaunâtre; ils sont devenus magnésiens et doux au toucher; des zéolithes et de la saponite se sont même développées dans leurs cavités et jusque dans leur intérieur..

De plus, il y a encore des grains de fer oxydulé disséminés dans le calcaire, et la chaux carbonatée blanche métastatique tapisse les cavités de la zone de contact dans laquelle elle s'est vraisemblablement formée par infiltration.

Enfin, le trapp en contact avec la salebande a subi une altération très-notable que je ferai connaître dans la deuxième partie de ce mémoire.

A Woodburn, le trapp a donc exercé une action violente sur les couches qu'il a traversées, surtout sur la craie et sur l'argile à silex. Au-dessous de la nappe de trapp, et à proximité du dyke, il s'est formé une salebande à structure confuse et réticulée, dans laquelle se sont développés divers minéraux, notamment de la chaux carbonatée bleuâtre et spathique. Je suis porté à croire que la chaleur a eu une grande part dans la formation de ces minéraux; on ne saurait cependant les considérer comme le produit de la fusion ignée du calcaire par le trapp; car les zéolithes et la saponite montrent, au contraire, que la fusion devait être aqueuse, et que l'eau a encore joué un rôle important, même dans ce métamorphisme.

GYPSE.

Le gypse est rarement en contact avec les roches trappéennes; toutefois comme il s'altère très-facilement, soit par une action aqueuse, soit par une action ignée, il

est fort intéressant d'étudier quel est alors le métamorphisme qu'il a éprouvé. C'est donc ce que je vais essayer de faire maintenant, puisque le gypse appartient encore aux roches calcaires. On sait d'ailleurs qu'il est généralement intercalé dans des marnes qui ont aussi été altérées, mais leur métamorphisme sera étudié spécialement avec celui des roches argileuses. Voici d'abord un gisement dans lequel le gypse disparaît près du trapp.

Springfield. — Aux environs de Belfast, à Springfield, sur les bords du Forth River, j'ai observé un filon de trapp ayant 0^{m},40 d'épaisseur, qui serpente dans les marnes du *new red sandstone* (Pl. V, *fig.* 6). § 72.] *Disparition du gypse.* **Trapp et Gypse.**

Ces marnes sont rouges, schisteuses, et elles contiennent un grand nombre de veines de gypse ayant une couleur blanche. Elles ont à peine été altérées par le trapp; mais, près du contact, elles sont cependant devenues vertes sur une largeur de quelques centimètres.

Si l'on suit une veine de gypse *q*, on la voit peu à peu s'amincir en biseau, à mesure qu'on se rapproche du filon de trapp; puis, à une distance de quelques décimètres, on ne l'aperçoit plus.

Ainsi le gypse a disparu au contact du trapp. Ce fait est très-important à constater; car si le trapp avait été injecté à l'état de fusion ignée, il aurait dû changer le gypse en anhydrite : ce qui n'a pas eu lieu. Il faut donc que le gypse ait été dissous; or cela peut être attribué, soit à ce que l'eau s'infiltre avec plus de facilité le long des épontes du filon que dans l'intérieur des marnes, soit à ce que de l'eau a accompagné l'éruption du trapp.

On comprend, du reste, que le gypse au contact d'une roche trappéenne se dissoudra seulement en petite quantité, et que sa disparition complète ne s'observera que quand ses couches seront peu épaisses.

Pyrénées. — C'est surtout dans les Pyrénées qu'on

peut très-bien étudier le métamorphisme du gypse par les roches trappéennes, car il y est souvent en contact avec l'ophite.

Je rappelle d'abord qu'on a souvent considéré ce gypse comme formé par des dégagements d'acide sulfurique qui auraient accompagné les éruptions ophitiques. Mais cette opinion ne paraît pas être exacte. En effet, l'ophite est postérieur au gypse. Il s'y montre en dykes qui ont la forme de buttes et qui le traversent fréquemment. Quelquefois même, comme à Marsoulas, à Sallies, à Anana, près de Vittoria, l'ophite est en amas isolés au milieu du gypse dans lequel il a été injecté (1).

De plus, il importe de remarquer qu'à une certaine distance de l'ophite, le gypse se présente tel qu'on le connaît dans les terrains stratifiés; c'est seulement au voisinage de la roche éruptive qu'il a des caractères anormaux, et par conséquent on doit les attribuer au métamorphisme (2).

Il est d'ailleurs assez rare d'observer le contact immédiat des deux roches, soit parce que le gypse a été dissous, soit parce que l'ophite a été décomposé. Quoi qu'il en soit, voici quels sont les caractères anormaux du gypse au contact ou dans le voisinage de l'ophite : de même que pour le calcaire, ces caractères résultent de modifications dans la composition minéralogique, et surtout dans la structure.

§ 74. *Structure compacte.* Ophite et Gypse.

Le gypse métamorphique a toujours une stratification confuse. Souvent même il a une structure compacte et sa stratification a complétement disparu. Qu'on examine cependant les échantillons qui ont été exposés à l'air, et l'on verra fréquemment la stratification reparaître (2).

(1) Dufrénoy. *Annales des mines*, 3e série, t. II, p. 26.
(2) *Annales des mines*, 5e série, t. IV, p. 361.

Le gypse change si facilement de structure, que le développement de la structure cristalline elle-même ne peut pas servir, comme pour le calcaire, à accuser l'action d'une roche éruptive. Ne voit-on pas, en effet, certains gypses du bassin de Paris perdre en partie leur stratification, prendre quelquefois une couleur parfaitement blanche, et devenir très-cristallins? J'observerai cependant que le gypse au contact de l'ophite a généralement une structure cristalline. Dans certains cas, il est même à grandes lamelles. Quant à sa couleur, elle est blanchâtre, rouge, plus rarement grise.

— Si l'on recherche maintenant les minéraux que renferme le gypse métamorphique, il est encore assez difficile de savoir quels sont ceux qui se sont formés par l'influence de la roche trappéenne. On y trouve d'ailleurs de l'arragonite, du quartz, du fer oligiste, du fer spathique et même des zéolithes.

L'arragonite est en beaux cristaux groupés, dont le gisement et les caractères sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de nous y arrêter plus longtemps. Ses cristaux se sont aussi développés dans les marnes qui accompagnent le gypse. § 75. *Arragonite.*

Avec l'arragonite on rencontre généralement le quartz bipyramidé. Mais on sait que ce quartz bipyramidé s'observe quelquefois dans le gypse stratifié normal, notamment dans celui des marnes irisées. En Espagne, loin de toute roche trappéenne, M. Ed. Collomb a d'ailleurs trouvé de l'arragonite associée au quartz sur de grandes étendues; par conséquent, la présence de ces deux minéraux ne suffit même pas pour démontrer un métamorphisme produit dans le gypse par une roche éruptive. § 76. *Quartz.*

L'oxyde de fer imprègne fréquemment le gypse métamorphique auquel il donne une couleur rouge brique. Le fer oligiste peut même y être disséminé en petites lamelles. § 77. *Fer oligiste.*

§ 78. *Fer spathique.* Basalte et Gypse. Corbières. — Le contact de l'ophite et du gypse présente les mêmes caractères dans les Corbières où il a été observé par M. d'Archiac.

Je mentionnerai spécialement le gisement de Sainte-Eugénie, dans le département de l'Aude, où une roche basaltique a pénétré le gypse au milieu duquel elle forme des amas (1). Cette roche se délite en sphéroïdes. Elle passe au mélaphyre et à la serpentine, ainsi qu'on l'observe au roc du Chevrier. Elle peut aussi devenir très-celluleuse et même scoriacée. Toutefois il convient de la considérer comme un basalte, puisque, d'après M. Tournal, elle contient du péridot.

Quant au gypse, il est fibreux et il renferme de nombreux cristaux de quartz bipyramidé. Près du contact, rien n'indique qu'il ait été changé en anhydrite. Vers Pechredon, il est traversé par des veines de fer spathique. Au roc du Chevrier, la roche trappéenne et le gypse contiennent des cristaux de fer oligiste.

§ 79. *Zéolithes.* Dans ce même gisement de Sainte-Eugénie, il y a des tufs qui ont la plus grande analogie avec les tufs volcaniques. Ils sont rougeâtres et souvent gris ou verdâtres. Ils ne font pas effervescence avec l'acide. Ils renferment des fragments roulés de gypse et des zéolithes.

L'association du gypse avec les zéolithes fait bien voir que la chaleur nécessaire à la formation des zéolithes peut être très-modérée et même inférieure à 120° (§ 10).

§ 80. *Absence de l'anhydrite.* — Au contact de l'ophite et des roches trappéenes avec le gypse on n'a pas observé d'anhydrite. Il n'y en a pas non plus autour des amas d'ophite qui ont pénétré dans le gypse. Cette absence d'altération est analogue à celle qui a été signalée dans les mêmes circonstances au contact du trapp et de la craie. Bien qu'elle ne fournisse

(1) Tournal : *Annales des sciences naturelles*, 1re série, t. XVIII; p. 457. — Dépôt de gypse et de roches pyrogènes à Sainte-Eugénie : *Mémoires de la Soc. géol.*, t. I, p. 57 et 40.

qu'un caractère négatif, elle mérite d'être mentionnée, car elle jette du jour sur l'origine de l'ophite et des roches trappéennes. Elle confirme, en effet, l'hypothèse que nous avons émise, d'après laquelle ces roches n'auraient pas fait éruption à l'état de fusion ignée.

Résumé.

§ 81. *Résumé.* — *Roches trappéennes et Roches calcaires.*

Quoique les roches calcaires soient facilement altérables, il arrive très-souvent qu'elles n'ont pas été métamorphosées au contact des roches trappéennes. Ainsi, des fragments calcaires peuvent être empâtés dans des trapps, et réciproquement ces derniers peuvent pénétrer sous forme d'amas au milieu des calcaires, sans que l'on observe aucune altération.

Cependant quand les roches trappéennes sont en filons et même quand elles se sont répandues en nappes, elles ont fréquemment métamorphosé les calcaires. Leur action augmente avec la puissance des filons et elle s'est surtout exercée au contact de leurs parois. Elle est rarement sensible à plus d'un mètre de distance. Elle est la plus énergique pour les basaltes, les dolérites et en général pour les roches trappéennes associées aux roches volcaniques.

Les métamorphoses éprouvées par les calcaires sont caractérisées par des altérations dans leur structure et par la formation de certains minéraux.

Ainsi, les calcaires prennent accidentellement une structure lithoïde, fragmentaire et même prismatique; toutefois, c'est seulement quand ils sont argileux ou siliceux. Leurs prismes sont d'ailleurs beaucoup moins nets que ceux qui se forment dans les mêmes circonstances dans les autres roches (§ 61). Certains calcaires en contact avec la diorite ont, comme ceux des Pyrénées, une structure caverneuse (p. 202).

Mais le métamorphisme du calcaire est surtout accusé par le développement de la structure cristal-

line. Le plus souvent alors, sa couleur est changée et généralement elle devient plus pâle ou tout à fait blanche, comme celle du marbre statuaire. En même temps, il prend une structure compacte et il s'y développe des lamelles cristallines. Quelquefois même il passe à un agrégat de cristaux arrondis de chaux carbonatée. Il est alors rugueux, grenu et saccharoïde (§ 63).

Toutes choses égales, un calcaire devient d'autant plus facilement cristallin qu'il est plus pur. La densité de la chaux carbonatée étant supérieure à celle du calcaire, il se produit alors une contraction; par suite la densité du calcaire métamorphique est généralement supérieure à celle du calcaire normal. Ainsi la craie, par exemple, qui est poreuse et très-légère, se change en un calcaire saccharoïde et sableux, et sa densité augmente de plus du cinquième.

Le calcaire magnésien et la dolomie prennent d'ailleurs la structure cristalline dans les mêmes circonstances que le calcaire pur.

Divers minéraux s'observent dans les calcaires, soit au contact immédiat, soit à une certaine distance de la roche trappéenne.

Ainsi, les hydroxydes de fer et de manganèse les imprègnent et remplissent leurs fissures. La pyrite de fer magnétique y est souvent disséminée.

La chaux carbonatée spathique forme des veines et tapisse des cavités. Il en est de même pour la dolomie dès que le calcaire est magnésien (p. 210).

La brucite et l'hydromagnésite imprégnent intimement certains calcaires cristallins (§ 65).

Parmi les hydrosilicates je signalerai, l'argile, les zéolithes, la terre verte.

L'argile est blanche, jaunâtre ou verte, généralement très-ferrugineuse; elle remplit des interstices.

Les zéolithes se sont développées dans les cavités des calcaires. On les trouve même dans des calcaires

qui n'ont pas pris la structure cristalline et jusqu'à une grande distance des roches trappéennes (§ 68).

La terre verte imprègne les calcaires de la manière la plus intime et elle leur donne une couleur verte et grisâtre. Elle paraît ne s'être développée que dans les calcaires argileux (§ 69, 71).

On trouve quelquefois dans les calcaires au contact des roches trappéennes, les silicates qui s'observent généralement dans les calcaires métamorphiques. Ces silicates contiennent le plus souvent une forte proportion de chaux ou de magnésie, comme le pyroxène, le grenat, l'idocrase, la gehlenite, etc. (§ 70).

Enfin il y a aussi les minéraux des gites métallifères, savoir : le quartz et ses variétés, les carbonates spathiques, la baryte sulfatée, la strontiane sulfatée, ainsi que les minerais métalliques, tels que le fer oligiste, la pyrite de fer, la galène, la blende, la pyrite de cuivre, etc. Ces minéraux pénètrent le plus souvent les calcaires sous forme de filons. (§ 71).

M. É. de Beaumont avait déjà fait observer que le calcaire ne s'est pas métamorphosé en dolomie au contact des roches trappéennes; l'analyse démontre, en effet, que cette hypothèse ne se vérifie dans aucun des gisements qui ont été étudiés, et je pense qu'elle doit être complétement abandonnée. J'ajouterai même qu'un calçaire magnésien en contact avec des roches trappéennes peut perdre au contraire de sa magnésie (§ 64). Lorsqu'il est devenu cristallin, il peut également renfermer moins d'hydrate de magnésie (p. 193).

Le métamorphisme éprouvé par le calcaire dépend beaucoup de sa composition. Ainsi, lorsque le calcaire est argileux, il devient lithoïde, sonore, fragile; il prend une couleur verte ou noirâtre et alors on le nomme quelquefois thermantide (§ 69).

Quand il y a de la glauconie dans un calcaire, elle

peut être conservée, lors même que ce calcaire a pris la structure cristalline.

Le calcaire est généralement séparé de la roche trappéenne par une salebande (§ 72). Tantôt cette salebande a seulement quelques millimètres; elle est alors formée par de la chaux carbonatée, spathique ou fibreuse qui a rempli un vide très-mince laissé entre les deux roches. Tantôt elle a plusieurs centimètres et même accidentellement elle atteint un mètre. C'est ce qui a lieu à Woodburn où elle est en grande partie formée par une chaux carbonatée, bleuâtre, spathique, à grandes lamelles (p. 220). On comprend d'ailleurs que la chaux carbonatée doive nécessairement dominer dans une salebande qui sépare des roches trappéennes et calcaires.

— Le gypse a éprouvé des métamorphoses qui ont beaucoup d'analogie avec celles du calcaire. Il a généralement pris une structure cristalline. Il renferme quelquefois du fer oligiste et même du fer spathique (§ 77, 78).

On conçoit que, dans certains cas, le gypse ait pu être déposé par des eaux venant de l'intérieur de la terre; mais dans les gisements que nous avons étudiés, rien n'indique qu'il résulte d'un métamorphisme du calcaire, ni même qu'il ait accompagné l'éruption de la roche trappéenne. Il appartient au contraire à des couches gypseuses antérieures à cette éruption; ses caractères spéciaux tiennent à des circonstances particulières de son dépôt et au métamorphisme qu'il a lui-même éprouvé.

— Si l'on passe en revue les roches calcaires métamorphosées par les roches trappéennes, on voit qu'elles sont généralement hydratées; de plus, les principaux minéraux qui s'y développent sont les hydroxydes, les carbonates, les hydrosilicates; les minéraux des gites métallifères; il faut donc admettre que leur métamorphisme doit moins être attribué à une action ignée qu'à une action aqueuse.

ROCHES SILICEUSES.

Je passe maintenant à l'étude du métamorphisme exercé par les roches trappéennes sur les roches siliceuses. Je m'occupe d'abord des roches siliceuses les plus simples, telles que le quartz et le silex qui sont formés par de la silice pure.

QUARTZ.

§ 82. *Altération nulle ou très-faible.* Basalte et Quartz

Près des bords du Rhin, dans le Siebengebirge, le basalte empâte quelquefois des fragments de quartz. Ce quartz est ordinairement d'un blanc de lait; il peut aussi avoir une couleur rosâtre comme celui qui s'observe dans le trachyte. Il est traversé par des fissures dans lesquelles il y a souvent de la chaux carbonatée.

A Gierswiese, M. de Dechen a observé un de ces fragments de quartz qui provenait d'un filon métallifère, et qui contenait encore de la blende brune (1). Ainsi le quartz peut résister aux roches trappéennes, lors même qu'il y est complétement empâté. On ne doit, d'ailleurs, pas s'en étonner, puisque les minerais métalliques, qui sont bien plus facilement altérables, leur résistent également dans les mêmes circonstances.

On va voir qu'il en est encore à peu près de même pour le silex.

SILEX.

Le trapp qui forme une partie du nord-est de l'Irlande, a traversé et recouvert la craie; aussi est-il souvent en contact avec le silex, auquel il a fait subir quelques modifications.

Ces modifications étant différentes, suivant que le trapp est en filons ou en nappes, il est nécessaire d'étudier séparément ces deux cas. Je considère d'abord le dernier.

(1) *Geogn. Beschreibung d. Siebengebirges am Rhein*, p. 100.

§ 83. Silex coloré. Trapp en nappes et Silex.

— Lorsque le trapp forme une nappe au-dessus de la craie, il en est ordinairement séparé par un lit de silex roulés, entremêlés d'argile. Cette argile est ferrugineuse, bleuâtre, et elle devient brune par l'action de l'air. Elle contient accidentellement de l'hydroxyde de fer en grains.

Dans les cavités des silex, il y a souvent des cristaux limpides de quartz et de chaux carbonatée.

J'ai remarqué qu'une zone très-mince de chaux carbonatée est quelquefois intercalée entre la nappe trappéenne et l'argile à silex (Pl. IV, *fig.* 11). Cette chaux carbonatée est fibreuse. Sa couleur est blanche ou gris bleuâtre. Elle forme une sorte de salebande de la nappe trappéenne, et elle a rempli celles de ses fentes qui se trouvent à proximité.

Le dépôt de silex présente une épaisseur assez inégale, qui n'est généralement que de $0^m,3$. Souvent il pénètre dans la craie au milieu de laquelle il forme des puisards analogues à ceux qu'on voit dans le calcaire grossier des environs de Paris. L'un de ces puisards, que j'ai observé dans la carrière de Cave Hill, près de Belfast, a un diamètre de $2^m,50$, et se termine en entonnoir. Il est visible que cette argile avec silex roulés est un dépôt de transport charrié par des courants, qui ont raviné et détruit une partie de la craie avant l'éruption de la nappe de trapp.

— Revenons aux silex roulés recouverts par le trapp qui doivent spécialement nous occuper ici. Leurs caractères ont toujours attiré d'une manière spéciale l'attention des observateurs.

On remarque, en effet, qu'au contact du trapp ils ont le plus souvent une couleur rouge ; un peu au-dessous ils sont jaunes ; puis, plus bas, ils deviennent gris. Ces changements de couleur s'opèrent sur quelques décimètres ; ils sont bien visibles dans les environs de Belfast.

J'ai calciné ces trois variétés de silex, afin de comparer l'action exercée sur eux par la chaleur.

I. *Silex rouge*, *s*. — Un silex rouge lie de vin, pris immédiatement au contact du trapp de Cave Hill, a perdu par calcination... 1,04. Il est alors devenu blanc grisâtre, et il ressemblait complétement au silex qui est voisin des filons de trapp.

II. *Silex jaune*, *s'*. — Un silex jaune, pris dans la même carrière un peu au-dessous du silex rouge, a perdu par calcination... 1,72. Il est aussi devenu blanc grisâtre.

Ce silex jaune était entouré par une sorte d'écorce blanche, comme celle qui s'observe souvent dans les silex qui ont été roulés ou exposés à l'action de l'atmosphère. Le silex blanc qui forme cette écorce n'est pas compacte, mais, au contraire, poreux et léger. Lorsqu'on l'examine à la loupe, il est réticulé, et il semble avoir été corrodé. Il reste blanc dans la calcination, et il éprouve une perte de... 1,60 : par conséquent il contient à peu près la même quantité d'eau que le silex jaune qu'il enveloppe.

III. *Silex gris*, *s''*. — Quant au silex gris ou noir qu'on trouve plus bas dans l'argile, c'est le silex ordinaire. J'ai constaté, en effet, qu'un échantillon pris à $0^m,70$ du trapp perd par calcination... 1,95.

L'écorce blanche qui entoure ce même silex éprouve une perte de... 2,5. L'écorce blanche, qui se montre si souvent autour des silex, indique une légère altération; par suite, il n'est pas étonnant que sa perte au feu soit variable. Berzélius a constaté d'ailleurs qu'elle renferme un peu plus de potasse que le silex qu'elle enveloppe(1). Il est donc probable que cette écorce est du silex devenu opaque et poreux par suite de ce que sa silice a été légèrement corrodée.

---

(1) *Kongl. Vetensk. Acad. Handl.*, 1842, p. 85-90.

Les essais très-simples que je viens de rapporter démontrent que la quantité d'eau est moitié dans le silex rouge de ce qu'elle est dans le silex gris : elle va successivement en diminuant dans les silex à mesure qu'on s'éloigne de la nappe de trapp. Mais en faut-il conclure que le trapp était à une température élevée? Non, certes; car le silex rouge n'a pas même perdu complétement son eau. Et, cependant, on va voir que cela aurait eu lieu si la température du trapp avait été suffisante pour donner à la craie la structure cristalline. Par conséquent les caractères des silex qui sont recouverts par la nappe de trapp nous démontrent encore que, quand cette nappe s'est épanchée sur la craie, elle n'était pas à l'état de fluidité ignée.

§ 84. *Silex fendillé.* Trapp en filons et Silex dans le calcaire cristallin.

— Je recherche maintenant quelle est l'action exercée sur le silex par le trapp en filons.

Lorsque le trapp a donné à la craie la structure cristalline, comme cela a lieu habituellement jusqu'à une petite distance des filons, le silex présente des caractères tout particuliers. Il est gris bleuâtre, quelquefois marbré de noir. Il vole en petits éclats sous le marteau, et il se brise même entre les doigts.

En l'examinant à la loupe, on y distingue une multitude de fissures qui s'entre-croisent dans tous les sens; il est complétement fendillé.

Ce silex fendillé s'observe très-bien aux environs de Belfast. J'ai trouvé pour un échantillon de Divis, dans lequel il y avait de la chaux carbonatée spathique et blanc bleuâtre, une perte au feu de... 0,35.

Un autre échantillon que j'avais pris dans la même carrière, à 1 mètre de distance du trapp, était aussi entouré de chaux carbonatée cristalline. Il a donné une perte au feu de... 0,56.

Dans la calcination, ce silex ne change d'ailleurs pas d'aspect.

Il est donc visible que le silex fendillé, qui se trouve à proximité des filons de trapp, a déjà été soumis à l'action de la chaleur et même fortement calciné. La faible perte qu'il éprouve est due à quelques millièmes d'eau hygrométrique. Comme le silex chauffé, même d'une manière brusque, ne se fendille pas, et que cela a lieu seulement quand on l'étonne ou quand on le refroidit brusquement, par exemple en le mettant en contact avec de l'eau, il est très-probable que de l'eau a accompagné le flux de chaleur produit par le filon de trapp; c'est d'ailleurs ce qu'il est facile de comprendre, puisque la plupart des roches qui sont à la surface de la terre contiennent de l'eau.

— Le silex devient blanc près de son contact avec la craie cristalline. Il en est alors séparé par une salebande qui a seulement quelques millimètres. § 85. *Salebande du silex qui est dans le calcaire cristallin.* Trapp et Silex.

Cette salebande s'observe surtout très-bien lorsque le silex est traversé par des cavités remplies de chaux carbonatée cristalline. Elle forme une zone concentrique qui se détache facilement du silex; car elle est divisée par de nombreuses fissures qui sont parallèles et perpendiculaires à la surface de contact. Ainsi la *fig.* 23, Pl. IV, représente un anneau qui a été dessiné sur un silex gris se trouvant près du filon de trapp, dans la carrière de Divis, près Belfast.

J'ai recherché si la salebande blanche qui entoure le silex résultait d'une combinaison directe de la silice avec la chaux de la craie. Mais j'y ai trouvé seulement quelques millièmes d'eau hygrométrique et 7,96 de chaux carbonatée qui l'imprégnait de la manière la plus intime. En la faisant bouillir avec de l'acide chlorhydrique, il ne s'est d'ailleurs dissous aucune trace de chaux et il ne s'est pas séparé de silice gélatineuse.

La salebande interposée entre le silex et la craie cristalline est donc formée par du silex qui a pris simplement la couleur blanche, qui a été légèrement impré- Le silex ne s'est pas combiné avec la chaux.

gné de chaux carbonatée, mais qui ne s'est pas combiné avec la chaux. Cette circonstance est très-importante à mentionner, parce qu'elle démontre que la craie au contact du trapp a cristallisé sans exercer, pour ainsi dire, d'action sur le silex avec lequel elle était en contact.

Or, dans la cuisson de la chaux, le silex se combine directement, sur une petite épaisseur, avec la chaux qui lui est contiguë. Quand on l'attaque ensuite par un acide, on en sépare de la silice gélatineuse : par conséquent, on ne peut pas supposer que la craie ait été amenée par le trapp à l'état de fusion ignée, ni même que sa température ait été aussi élevée que celle des fours à chaux.

§ 86. *Carbonates.* — Quoique le silex soit extrêmement compacte, on vient de voir qu'il peut être légèrement imprégné de chaux carbonatée.

Chaux carbonatée spathique. Quelquefois même, il a subi une pseudomorphose extrêmement remarquable.

On observe, en effet, que tout en conservant sa forme, le silex de la craie d'Irlande perd peu à peu sa silice qui est remplacée par de la chaux carbonatée spathique.

Cette chaux carbonatée est transparente comme le spath d'Islande, et, quand la métamorphose est complète, elle présente des clivages parallèles dans toute l'étendue du silex, dont elle conserve entièrement la forme (Pl. IV, *fig.* 24). La pseudomorphose du silex en spath calcaire s'observe entre Glenarn et Cairnlough.

Il est très-vraisemblable qu'elle doit être attribuée au trapp, ou du moins à des sources minérales qui auraient accompagné son éruption. On comprend, en effet, que le silex peut avoir été dissous par des eaux chargées de carbonates alcalins et remplacé peu à peu par de la chaux carbonatée qui, arrivant lentement, a dû cristalliser. Ici encore le métamorphisme n'a pu s'opérer que par voie humide.

§ 87. *Zéolithes.* — Les exemples que je vais citer maintenant montre-

ront que le silex est quelquefois imprégné de zéolithes près du contact du trapp avec la craie.

A Bushmill, entre Portrush et la Chaussée des Géants, à côté d'un dyke de trapp se délitant en sphéroïdes, j'ai trouvé un silex blanc et poreux qui m'a paru devoir être examiné. Ce silex est léger, car sa densité est seulement de... 2,50. Il est recouvert et pénétré par l'argile ferrugineuse, bleuâtre, de laquelle j'ai déjà parlé antérieurement; elle a rempli ses cavités les plus grandes.

A l'intérieur du silex, on voit des nodules radiés ayant une couleur blanc mat et tapissant des cavités microscopiques. Il m'a semblé qu'il s'était formé une zéolithe dans ces cavités, et, dans le but de vérifier cette hypothèse, j'ai fait un essai de ce silex blanc.

J'ai trouvé qu'il contient 4,24 d'eau. De plus, il s'attaque fortement par l'acide chlorhydrique; il donne un résidu consistant en silex et en silice, lequel pèse... 91,00. La liqueur acide contient de l'alumine, de l'oxyde de fer, de la chaux et un peu d'alcali. L'oxyde de fer est simplement mélangé.

Je pense donc que le silex blanc de Bushmill est complétement imprégné par une zéolithe fibreuse; cette zéolithe est vraisemblablement de la stilbite.

Le développement d'une zéolithe dans l'intérieur de ce silex est d'autant plus remarquable, que la craie au contact du filon n'a pas été altérée, et que certaines cavités du silex ont été remplies par de l'argile.

On voit donc encore, par ce nouvel exemple, que les zéolithes se produisent, même dans des circonstances où un calcaire très-pur, comme la craie, n'a pas pu cristalliser; par suite, voilà une preuve nouvelle que leur formation n'exige pas une température élevée.

L'étude des zéolithes développées dans les roches calcaires et gypseuses m'a déjà conduit, à plusieurs reprises, à la même conclusion (§ 68 et 79).

§ 88. *Saponite.* Trapp et Silex.

— Lorsque le calcaire est devenu cristallin sous la nappe de trapp, on y trouve aussi des silex qui sont entièrement imprégnés de saponite.

En effet, à Woodburn, entre la nappe de trapp et la craie cristalline, j'ai recueilli du silex métamorphique ayant une couleur grise, jaune verdâtre ou jaune serin. Ce silex devient rougeâtre par altération à l'air. Son éclat est gras. Sa densité est de 2,333; comme celle du silex normal est de 2,60, elle a donc diminué de plus de 10 p. 100. Il contient d'ailleurs... 8,70 d'eau. Quand on l'attaque par l'acide chlorhydrique, on a un résidu de 75 et il ne se sépare pas de silice gélatineuse. La liqueur contient de l'alumine, de la chaux et de la magnésie. L'examen à la loupe y montre quelquefois une structure confusément rayonnée et globuleuse. Elle est produite par le développement d'un minéral jaune verdâtre qui se laisse rayer par l'ongle et qui me paraît être la saponite (pierre de savon). La pl. V, *fig.* 19, indique à peu près l'aspect que présentent ces globules quand ils sont calcinés. Le silex devient grisâtre, tandis que la saponite prend une couleur blanche, et on voit qu'elle s'est développée sous la forme de globules celluleux ou de veines microscopiques très-contournées. Elle est plus abondante près de la circonférence du globule et surtout à la surface du silex. Elle se montre aussi dans toutes les fissures qui le traversent. Du reste, le silex tout entier a été métamorphosé, et quelquefois il l'est tellement, qu'il est très-difficile à reconnaître. Dans certains cas, il ressemble à la *chalilite* de Thomson. D'après l'examen des collections de l'Irlande et de M. Adam, je pense même que la chalilite provient d'une roche siliceuse, qui, comme le silex de Woodburn, aura été complétement imprégnée de saponite ou de zéolithe et métamorphosée au contact du trapp.

GRÈS.

J'étudie maintenant le métamorphisme exercé par les roches trappéennes sur les grès ou sur les roches siliceuses arénacées. Généralement les grès ne sont pas formés par de la silice pure. Bien qu'ils se composent pour la plus grande partie de grains de quartz, ils renferment presque toujours différentes substances mélangées; les plus habituelles sont l'argile ou l'argilithe et les carbonates. J'aurai soin d'indiquer pour chaque gisement quelle est la nature du grès, et notamment s'il est argileux ou calcaire.

— Il peut arriver d'abord que l'altération du grès soit nulle ou très-faible. Ainsi M. Henslow, auquel on doit d'intéressantes recherches sur l'île d'Anglesey, a observé près de Port-Dafreth un filon de dolérite qui est en contact avec un quartzite (*quartz-rock*). Or, ce quartzite a conservé sa dureté et il a seulement perdu son aspect cristallin (1). § 89. *Altération nulle ou très-faible.* Dolérite et Quartzite.

— Le métamorphisme éprouvé par le grès est surtout caractérisé par le développement de certains minéraux qui, à cause de la porosité de la roche, sont plus faciles à reconnaître que dans le quartz ou dans le silex.

Je vais successivement passer en revue ces minéraux métamorphiques, et je commence par les carbonates, qui sont les plus simples, mais dont la présence est toutefois assez accidentelle. Voici d'abord un exemple dans lequel le carbonate est de la chaux carbonatée. § 90. *Carbonates.*

Pflasterkaute. — A Pflasterkaute, près de Foertha, dans les environs d'Eisenach, le basalte a fait éruption dans le grès bigarré, dont il empâte souvent des fragments (2). *Chaux carbonatée.* Basalte et Grès bigarré.

---

(1) *Trans. of the Cambridge Phil. Society*, t. I, p. 419 et 420.

(2) Voir pour les coupes et descriptions de ce gîte intéressant A. Boué. *Journal de physique*, t. XCV, p. 298.— Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*.—Daubeny. *Description of Volcanoes*, p. 72.

Ce basalte est tantôt compacte et tantôt très-amygdalaire; ses cavités sont tapissées par des zéolithes, du quartz et surtout par de la chaux carbonatée blanche, spathique, parfaitement transparente. Dans ses fissures, on observe quelquefois du fer oxydulé.

J'ai examiné un fragment de grès bigarré qui est empâté dans le basalte de Pflasterkaute, et qui provenait d'une collection rapportée par M. Boué. Il est décoloré, et de rouge qu'il était, il est devenu blanc grisâtre. Quand on l'expose à l'air, il prend une couleur jaunâtre. Il est d'ailleurs resté friable, et il s'égrène assez facilement.

La chaux carbonatée blanche et spathique s'y montre en veines et de plus elle l'imprègne intimement; elle y forme des lamelles miroitantes, en sorte qu'il ressemble à certaines variétés du grès calcaire de Fontainebleau. Entre les grains de quartz hyalin gris, on observe d'ailleurs des nodules blancs, montrant qu'il a été pénétré par une zéolithe; c'est, en effet, ce qui sera démontré plus loin.

Ce grès métamorphique fait dans toutes ses parties une vive effervescence avec l'acide. Sa perte au feu, qui est due à de l'acide carbonique et à un peu d'eau, est de... 5,95. Quand on le traite par l'acide chlorhydrique faible, de manière à dissoudre seulement le carbonate, on obtient un résidu pesant... 90,44; par conséquent, il renferme moins de 10 p. 100 de chaux carbonatée.

Comme le grès bigarré normal ne contient généralement pas de chaux carbonatée, celle qu'il y a dans le grès métamorphique doit être attribuée au basalte. On n'en saurait douter, lorsqu'on remarque que le basalte contient lui-même beaucoup de chaux carbonatée qui a rempli ses amygdaloïdes, et qui est, comme dans le grès, à l'état spathique.

Quand une roche éruptive contient des carbonates, il n'y en a pas nécessairement dans la roche encaissante; mais cependant la réciproque est vraie. J'ai constaté, en effet, que chaque fois que la roche encaissante a été imprégnée par des carbonates, il y en a aussi dans la roche éruptive.

Je vais en donner la preuve par de nouveaux exemples, dans lesquels le carbonate est à base de chaux, de magnésie ou de fer.

Dolomie. Mélaphyre et Grès houiller.

Remesweiler. — A Remesweiler dans le bassin houiller de la Sarre, le grès du terrain houiller est coupé par un petit filon de mélaphyre qui renferme des veinules de dolomie. Or M. E. Jacquot a observé que le mélaphyre et la dolomie ont pénétré dans le grès jusqu'à une petite distance (1). Voici donc un gisement authentique dans lequel de la dolomie imprègne un grès au contact d'un mélaphyre.

Carbonate à base de fer. Trapp et Grès.

Comber. — A Comber, dans le comté de Down en Irlande, il est facile d'observer le grès quartzeux du terrain carbonifère qui est traversé par des filons de trapp. Au contact de l'un de ces filons et sur une épaisseur de plusieurs centimètres, le grès a pris une couleur vert noirâtre; à une distance d'un décimètre environ sa couleur est jaune brunâtre; enfin à quelques décimètres, il a conservé sa couleur naturelle. J'ai essayé avec M. Brivet deux variétés du grès de Comber qui ont été attaquées par l'acide chlorhydrique (2).

I. Grès jaune brunâtre, pris à $0^{m},1$ du filon. Il est cimenté et déjà légèrement modifié.

II. Grès vert noirâtre, au contact immédiat du filon. Quand

(1) *Bassin houiller de la Sarre*, p. 174.

(2) Dans ces essais les alcalis n'ont pas été dosés, mais la somme des substances obtenues montre qu'il n'y en a qu'une très-petite quantité.

on le calcine, il prend une couleur rouge de colcothar beaucoup plus foncée que cela n'a lieu pour le précédent.

	I.	II.
Densité	2,522	2,545
Résidu insoluble et Silice	87,90	70,25
Alumine	1,86	3,37
Oxyde de fer	4,55	18,40
Chaux	0,75	0,85
Magnésie	0,65	1,80
Eau	4,17	3,10
Acide carbonique	0,30	2,60
Somme	100,18	100,37

Le grès verdi qui est au contact immédiat du trapp a une densité un peu plus grande que le grès jaune. Il est plus fortement attaqué par l'acide qui le décolore presque complétement. Il contient plus d'oxyde de fer, plus d'alumine et plus de magnésie. Il renferme d'ailleurs une proportion notable d'acide carbonique; on voit donc qu'il a été imprégné par un carbonate de fer à l'état de sphérosidérite, et c'est même en partie à ce carbonate qu'il doit sa couleur verte.

En outre, il a été imprégné par le trapp lui-même, ce qui explique pourquoi il s'attaque plus facilement par l'acide, et pourquoi il renferme plus d'alumine, plus de fer et plus de magnésie.

Je vais encore décrire un autre gisement dans lequel j'ai observé à peu près le même métamorphisme qu'à Comber.

Dolérite et Grès. **Scrabo.** — Au mont Scrabo, près de Newtonards, aux environs de Belfast, un grès rougeâtre est traversé dans tous les sens par du trapp qui l'a de plus complétement recouvert (Pl. IV, *fig.* 25).

Ce grès paraît reposer sur le calcaire carbonifère de Castle Espie, et appartenir lui-même au terrain carbonifère. Il est quartzeux, et on l'exploite sur une grande échelle pour les constructions de Belfast.

Ses couches sont à peu près horizontales ou légèrement inclinées vers la mer. Elles sont recoupées par des joints

transversaux. Il forme les deux tiers du mont Scrabo, et il est recouvert par une sorte de chapeau de trapp.

On y observe des veines minces d'argilithe *a* qui ont une couleur rouge violacée.

Trapp. — A plusieurs reprises, le trapp a été injecté dans le grès, dans lequel il pousse surtout des ramifications horizontales très-puissantes.

I. — t_1 est une petite veine de trapp qui a rempli une première fissure horizontale au moment de l'éruption.

II. — t_2 est un trapp formant des bancs irréguliers qui atteignent 2 mètres de puissance et qui sont à peu près parallèles aux couches de grès. Il s'est introduit d'une manière violente entre les vides provenant d'un arrachement dont on voit encore les traces.

Ce trapp est cristallin, dur, compacte, très-feldspathique. On y observe du feldspath du sixième système qui est du labrador, de l'augite et du mica ferromagnésien, ayant une couleur brun tombac. Il fait effervescence dans l'acide. Sa perte au feu est de 3 p. 100.

III. — t_3 est un trapp amygdaloïde qui coupe les trapps précédents t_1 et t_2. Il présente un filon presque vertical d'une puissance de 6 mètres. Sa direction est à peu près N. S. Son pendage est vers l'ouest. Il a une structure schistoïde parallèlement à ses salebandes.

Il occupe l'extrémité de la carrière, et les couches de grès qui sont taillées en gradins dans l'exploitation s'arrêtent contre ses parois. Ce trapp amygdaloïde renferme du feldspath du sixième système, de l'augite et du fer oxydulé. Sa perte au feu a été trouvée de 5,16 et 5,60, soit en moyenne... 5,38. Il contient des carbonates. Quand il est altéré, il devient brun et il se désagrége en une sorte d'arène feldspathique, dans laquelle on trouve des sphéroïdes non décomposés.

Les trapps qu'on observe au mont Scrabo peuvent être considérées comme des dolérites grenues.

A leur contact, le grès a pris une légère teinte verte, mais assez irrégulièrement ; elle se montre surtout suivant des veines qui paraissent argileuses, et au plus jusqu'à une distance de quelques décimètres.

Grès normal. — Le grès normal de Scrabo est rougeâtre ou jaunâtre et essentiellement quartzeux ; on y voit cependant des grains roses de feldspath, du kaolin et du mica blanc d'argent. Il renferme aussi des veines microscopiques d'argilithe rouge violacée. Sa densité est... 2,410. Avec l'acide il fait une effervescence très-faible. Il contient 2,60 d'eau et 0,70 d'acide carbonique. Attaqué par l'acide chlorhydrique, il donne un résidu de... 89,45.

Grès métamorphique. — Le grès de Scrabo a seulement été métamorphosé au contact immédiat du trapp. Sa couleur est gris rougeâtre ou vert grisâtre. Il est jaspé et traversé par des veines verdâtres parallèles à la stratification.

J'ai déterminé la densité et la perte au feu de deux échantillons.

	Densité.	Eau.	Acide carbonique.	Perte au feu.
Grès gris rougeâtre avec veines vertes	2,463	2,12	2,60	4,72
Grès gris verdâtre avec argilithe.	2,506	1,58	0,90	2,48

Ces grès métamorphiques font une effervescence très-lente dans l'acide ; ils ont donc été imprégnés de carbonate de fer, puisqu'il n'y en a pas dans le grès normal. On peut remarquer aussi que leur densité a augmenté.

Un échantillon de ces grès, attaqué par l'acide chlorhydrique, a donné un résidu de... 94,40.

Le métamorphisme du trapp sur le grès s'observe surtout très-bien vers la droite de la carrière au point *x*, où les deux filons horizontaux de trapp viennent se réunir (Pl. IV, *fig.* 25).

Le grès qui se trouve en ce point a une couleur gris ver-

dâtre, et au premier abord on pourrait même le prendre pour du trapp. Sa structure est polyédrique. Il a une cassure esquilleuse, compacte et lustrée. Sa densité est... 2,565; elle est bien supérieure à celle du grès normal qu'elle dépasse de 6,43 p. 100. Il contient un peu de carbonate à base de fer. Il perd sa couleur verte par une ébullition prolongée dans l'acide chlorhydrique. Quand on le calcine fortement, l'on remarque entre les grains de quartz des parties blanchâtres très-brillantes, qui sont frittées et même vitrifiées. Il est devenu plus fusible.

J'ai trouvé dans un essai par l'acide chlorhydrique :

Grès verdi de Scrabo.

Résidu inattaqué	90,40	84,10
Silice		6,30
Chaux		0,70
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie et un peu d'alcalis		5,89
Eau		2,26
Acide carbonique		0,75
Somme		100,00

Les recherches précédentes montrent que le grès verdi de Scrabo, a, comme celui de Comber, une densité plus grande que celle du grès normal.

Ses parties qui étaient à l'état de kaolin ne s'observent plus; elles paraissent s'être changées en feldspath.

Il est visible que le grès verdi a été légèrement imprégné par le trapp qui s'est infiltré entre ses grains jusqu'à une petite distance du contact.

Quoi qu'il en soit, il importe de remarquer que les grès qui ont pris une couleur verte au contact du trapp, contiennent généralement une petite quantité de carbonate. Ce carbonate fait une effervescence très-lente dans l'acide; il est surtout à base de fer.

Le métamorphisme, qui a imprégné le grès de carbonate à base de fer, est, comme on vient de le voir, assez complexe; car il accompagne souvent celui qui a

donné au grès la couleur verte; ce dernier métamorphisme sera d'ailleurs l'objet d'une étude spéciale.

Chaux carbonatée bleuâtre.

Chaux carbonatée bleuâtre. — Indépendamment du carbonate qui imprègne le grès au contact immédiat du trapp, on observe aussi une chaux carbonatée bleuâtre, ayant des caractères tout particuliers. Elle se montre loin du contact, en veinules ou en petits filons, et elle tapisse les fissures à peu près verticales qui séparent les bancs de grès.

Elle est en cristaux tabulaires et transparents. Quand on la calcine de manière à ne pas décomposer le carbonate, elle passe du bleu au blanc. En outre, elle dégage alors une odeur empyreumatique et un peu d'eau qui est sensiblement ammoniacale. Sa couleur bleue tient donc à une matière organique. Cette couleur résiste du reste à la benzine ou à l'éther; mais elle disparaît par l'exposition à l'air. Quand on calcine fortement cette chaux carbonatée, elle perd 43,30 d'acide carbonique, et elle devient brune. Elle ne renferme pas de strontiane. Elle contient moins de 1 p. 100 d'oxyde de fer.

La chaux carbonatée bleuâtre du Scrabo est très-bizarre. Elle ne diffère cependant pas de celle de Woodburn, qui a été décrite précédemment; cette dernière est seulement entremêlée de zéolithes (page 221). Ses caractères rappellent ceux de la *Prunnerite* des Fœroë, qui est violet-grisâtre et qui cristallise en rhomboèdre cuboïde (1). Il est vraisemblable qu'elle s'est déposée dans les fissures produites dans le grès au moment des éruptions du trapp. En tout cas, elle appartient aux minéraux des filons qu'on rencontre souvent dans les cavités de toutes les roches qui avoisinent les roches trappéennes (§ 71).

— On vient de voir que les roches encaissantes des

(1) Dana, *Mineralogy, third edition*, t. II, p. 439.

roches trappéennes peuvent être imprégnées de carbonates à base de chaux, de magnésie ou de fer. Toutefois ces carbonates sont généralement en petite proportion. Ils se sont formés d'une manière accidentelle et seulement quand il y en avait aussi dans les roches trappéennes. Si l'on suppose la roche encaissante calcaire, elle pourra être imprégnée de carbonates, quelquefois même de dolomie; mais il n'y aura pas métamorphisme du calcaire en dolomie. C'est d'ailleurs ce que les recherches précédentes ont suffisamment démontré (p. 229).

§ 91. *Quartz.* Basalte et Sable quartzeux.

— Les géologues allemands ont quelquefois désigné sous le nom très-impropre de *Trappquartz* ou de *Quartz-fritte* des amas de quartz qu'on a considérés comme étant vitrifiés. Ces amas s'observent à Dransfeld ainsi qu'à Wilhelmshöhe, près de Cassel, et ils sont dans le voisinage des roches basaltiques. Ils sont formés par un sable quartzeux qui est cimenté par de la silice amorphe. Les grains de sable peuvent se fondre plus ou moins complétement dans le ciment siliceux. Ils sont blancs ou colorés de différentes manières par de l'hydroxyde de fer. M. Haussmann a étudié ces amas de quartz et il attribue leur formation à des eaux contenant de la silice qui ont métamorphosé des sables tertiaires désagrégés. Je ferai d'ailleurs remarquer qu'ils ne résultent pas d'une action directe et immédiate du basalte; ils ont seulement été produits par des sources dont l'origine peut se rattacher à son éruption.

§ 92. Basalte et Grès bigarré. *Argile ferrugineuse.*

— L'argile ferrugineuse (*bol*) a déjà été signalée au contact de roches trappéennes avec les roches feldspathiques (§ 52). M. de Leonhard l'a observée aussi en veines de quelques millimètres autour des fragments de grès prismatique empâté dans le basalte de Wildenstein. Par cela même que l'argile ferrugineuse se montre dans les fissures et les cavités des roches trappéennes, on comprend d'ailleurs qu'on peut

la rencontrer dans toutes les roches qu'elles empâtent ou qu'elles recouvrent.

§ 93. Zéolithes. — Si les grès métamorphosés au contact des roches trappéennes sont assez rarement imprégnés de carbonates, ils sont, au contraire, très-souvent pénétrés par des zéolithes. La présence de cristaux nets et reconnaissables de zéolithes est cependant accidentelle, et généralement les grains de la roche siliceuse sont seulement cimentés par une pâte qui présente les mêmes propriétés que les zéolithes.

Comme ce métamorphisme est très-habituel pour les grès, il importe de l'étudier avec le plus grand soin; je vais donc le considérer à différents degrés d'intensité. Il est d'ailleurs assez complexe, surtout quand il est très-énergique; car alors le grès a pris une couleur blanche et une structure plus ou moins vitreuse, indépendamment de ce qu'il s'y est développé des zéolithes. Je commence par quelques gisements d'Allemagne qui sont bien connus : la roche trappéenne est ordinairement le basalte, et le grès métamorphosé est quartzeux, plus ou moins argileux; c'est le grès bigarré.

Basalte et Grès bigarré. Wildenstein. — Le gisement de Wildenstein, près de Büdingen, est tout à fait classique; aussi son étude offre-t-elle un intérêt tout particulier (1).

Le basalte traverse et enveloppe le grès bigarré qui a été métamorphosé et qui a pris sur une grande échelle la structure prismatique.

Basalte. — Ce basalte est noirâtre ou noir bleuâtre. Il contient du péridot, mais en petite quantité. Il est très-amygdalaire. Sa perte au feu peut être très-considérable, car dans l'échantillon que j'ai examiné, qui était en contact avec le grès, elle s'est élevée à... 8,42.

---

(1) Naumann. *Lehrbuch der Geognosie*, t. I, p. 773, Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 351 et 357.

Comme il ne renferme qu'une trace de carbonate, cette perte est essentiellement due à de l'eau. Le basalte a pénétré intimement le grès dans lequel il forme des veines, des nodules, ou des brèches composées de fragments anguleux de grès et de basalte.

Grès normal. — Le grès normal de Wildenstein est quartzeux. Il a généralement une couleur rouge uniforme; quelquefois il est veiné ou tacheté. Il appartient au grès bigarré.

Grès métamorphique. — Le grès métamorphique se divise en prismes droits ou courbes, dont la longueur dépasse quelquefois 2 mètres. Quant à leur largeur, elle présente seulement une section de quelques centimètres.

Ce grès a perdu sa couleur rouge près du contact avec le basalte; il est devenu blanc, légèrement grisâtre ou bleuâtre. On y observe aussi de petites veines noirâtres qui lui donnent la structure jaspée; elles sont quelquefois dues à la pénétration du basalte; mais le plus souvent elles résultent du métamorphisme des veines argileuses que renferme le grès. Entre les prismes il s'est déposé, par infiltration, de l'hydroxyde de fer, ainsi que des dendrites d'oxyde de manganèse.

Le grès de Wildenstein est très-fragile, sonore, à cassure aiguë et esquilleuse. Il a beaucoup d'éclat. Au premier abord, on est tenté de le regarder comme une roche homogène et vitrifiée; aussi le désigne-t-on souvent sous le nom de *thermantide.* Mais lorsqu'on l'examine à la loupe, on reconnaît que c'est seulement dans certaines parties qui sont au contact immédiat du basalte qu'il s'est formé un verre réticulé et noirâtre. Dans toutes les autres parties, le grès est blanc, et on y distingue toujours plus ou moins la structure arénacée. Il a été imprégné par une zéolithe qui s'est infiltrée entre les grains de quartz hyalin.

Près du basalte, cette zéolithe forme un ciment con-

tinu; alors le grès est lustré, vitreux et de plus son éclat est un peu gras.

A une certaine distance, on observe de petits nodules isolés de zéolithes. Ces nodules sont représentés Pl. IV, *fig.* 21 ; ils ont une couleur blanc mat qui les distingue du blanc grisâtre des grains de quartz. Ils sont arrondis, bien qu'irréguliers, et ils donnent à la roche une structure oolithique. Souvent on remarque une cavité dans leur intérieur. Ils se détruisent dans les parties altérées par l'action de l'air.

Enfin, à une distance plus grande du basalte, le grès qui était lisse et compacte devient poreux et rugueux; il a encore la couleur blanche, mais il a perdu son éclat gras, et sa structure arénacée est maintenant bien visible. De petits mamelons de zéolithe tapissent seulement ses cavités. Ces métamorphoses du grès peuvent se suivre sur une épaisseur de quelques décimètres.

J'ai trouvé pour la densité moyenne du grès blanc légèrement bleuâtre de Wildenstein... 2,342. D'un autre côté, M. Leonhard a constaté que le grès bigarré rouge d'Heidelberg pèse... 2,443 (1). On voit donc que la densité du grès prismatique de Wildenstein est un peu plus faible que celle du grès normal. Ce résultat pourrait s'expliquer en admettant que le quartz aurait été légèrement vitrifié; car la densité d'un grès devenu prismatique dans un haut fourneau de Laubach est seulement de... 2,081 (2). Cependant, comme dans le grès de Wildenstein, on distingue encore les grains de quartz; il est visible que la fusion était, en tout cas, très-incomplète. Il faut tenir compte d'ailleurs de ce que le grès de Wildenstein a eu sa composition modifiée, et de ce qu'il a été pénétré par une zéolithe; car on sait

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 231.

(2) Recherches sur les verres provenant de la fusion des roches (*Bullet. de la Soc. géol.*, 2e s., t. IV, p. 1380).

que la densité des zéolithes est notablement inférieure à celle du quartz.

M. G. Bischof a reconnu que le grès de Wildenstein contient une petite quantité d'une matière organique. Quand on le chauffe, cette matière donne même une vapeur légèrement ammoniacale (1).

Dans certains échantillons du grès de Wildenstein, qui sont à gros grains et qui passent au conglomérat, on distingue très-bien des fragments de feldspath orthose. Ce feldspath a un éclat assez vif, mais un peu gras, et il a généralement pris une couleur blanc verdâtre.

Lorsque le grès métamorphique est resté exposé à l'action de l'air, j'ai remarqué qu'il est toujours fortement altéré à sa surface. Il est devenu blanc jaunâtre et rugueux. Le ciment qui réunissait ses grains de quartz a disparu, et ces grains restent seuls en saillie. Voilà donc encore un nouvel indice montrant que le ciment du grès métamorphique n'est pas de la silice fondue, mais bien une zéolithe.

— J'ai fait un essai du grès lustré et prismatique de Wildenstein. J'ai eu soin de le débarrasser aussi bien que possible des parties noirâtres et basaltiques qu'il renfermait; il en restait cependant encore, et elles ont contribué à augmenter un peu les quantités de magnésie et d'oxyde de fer qui ont été trouvées.

J'ai constaté d'abord que ce grès étant porphyrisé, s'attaque assez fortement par les alcalis; car en le faisant bouillir pendant une heure avec de la potasse au dixième, la quantité de silice dissoute s'élève à 12,9 p. 100. Il y a un peu d'alumine dans la liqueur potassique, et le résidu insoluble pèse après calcination... 82,19. Un cinquième de la roche environ peut donc être attaqué par la potasse (§ 12).

---

(1) G. Bischof. *Lehrbuch der Geologie*, t. II, p. 755.

Si l'on fait bouillir pendant plusieurs heures le grès de Wildenstein avec de l'acide chlorhydrique, il se sépare de la silice floconneuse, et en même temps des bases sont dissoutes. Mais l'attaque complète est impossible, et le résidu, qui est essentiellement quartzeux, conserve toujours une couleur grisâtre.

La proportion du grès qui s'attaque par l'acide est d'ailleurs à peu près d'un cinquième, comme lorsqu'on emploie la potasse.

Voici quels sont les résultats obtenus avec l'acide chlorhydrique, le résidu étant ensuite traité par une dissolution faible de potasse.

Grès prismatique de Wildenstein.

Résidu	82,00	92,25
Silice soluble dans la potasse	10,25	
Alumine et un peu d'oxyde de fer	3,07	
Chaux	0,23	
Magnésie	0,32	
Soude	0,13	
Potasse	0,22	
Eau	3,50	
Somme	99,72	

La composition de ce grès de Wildenstein montre qu'il est imprégné par une zéolithe. La quantité de silice dissoute est grande relativement aux bases ; mais cela tient à ce que la dissolution de potasse a enlevé aussi de la silice devenue soluble par le métamorphisme.

Un grès normal formé de quartz hyalin ne serait pas attaqué par une dissolution de potasse ; si le grès de Wildenstein s'attaque fortement, il le doit au métamorphisme qu'il a subi, par suite duquel il a été vitrifié et imprégné de zéolithes ; car il résulte de recherches que j'ai faites relativement à l'action exercée par les alcalis sur les roches, que les roches vitrifiées et zéolithiques s'attaquent elles-mêmes assez fortement (1).

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. XI, p. 127.

Il importe, d'ailleurs, de remarquer que si le grès de Wildenstein a éprouvé une sorte de vitrification, rien n'indique qu'elle résulte d'une fusion ignée proprement dite. La présence d'une zéolithe et de 3,50 d'eau dans ce grès démontrent, au contraire, qu'elle ne peut être attribuée qu'à une fusion aqueuse.

Basalte et Grès bigarré.

Blaue Kuppe. — A Blaue Kuppe, près d'Eschwege, un puissant dyke de basalte enveloppe complétement des lambeaux de grès bigarré. MM. de Léonhard, Haussmann, Daubeny, Boué, B. Cotta ont donné des descriptions de ce gisement remarquable (1). Les fragments de grès sont bien distincts du basalte qui les enveloppe, mais ils se fondent quelquefois avec lui sur une petite épaisseur; ils peuvent être énormes, et leurs dimensions atteignent jusqu'à 20 mètres. Ils sont souvent fissurés dans différents sens. La stratification des couches est encore bien visible, elle a même été peu dérangée.

Le basalte de Blaue Kuppe appartient à la variété que M. de Léonhard nomme *anamésite*, et il contient du fer carbonaté (*sphérosidérite*). Dans certaines parties il est extrêmement celluleux.

Grès normal. — Le grès normal présente les caractères habituels du grès bigarré. Il a une couleur rouge, et il est friable. On y observe des grains de quartz, des parcelles kaoliniques et du mica. Le mica a une couleur noire, verdâtre ou blanche argentée : ses paillettes sont parallèles à la schistosité. La densité du grès normal est... 2,459. Il ne contient pas de carbonate. Quand on le calcine fortement, il se vitrifie légèrement, surtout dans les parties où il y a du kaolin, et il se décolore.

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II. p. 360. — Haussmann. *Uebersicht der jungern Flotzgebilde um Fluss-Gebiete der Weser*, p. 115. — Daubeny. *Description of volcanoes*, p. 75. — Boué. *Geognostiches gemaelde von Deutschland*, p. 537. — B. Cotta. *Neues Jahrbuch*, 1848, p. 132.

qu'il renferme des alcalis, et c'est aussi ce qui sera démontré par l'analyse.

Grès métamorphique. — Le grès métamorphique est blanchâtre ou jaunâtre; sa couleur est à peu près celle que prend le grès normal calciné. Il est plus compacte, et sa cohésion a augmenté. Il ne contient pas de carbonates. Sa densité est... 2,453; elle est un peu moindre que celle du grès normal. Il se fritte légèrement lorsqu'on le calcine. Dans les fragments peu altérés on retrouve les paillettes de mica du grès normal; leur couleur est restée la même, et elles n'ont pas les reflets dorés que prend le mica calciné dans un creuset. Quand le grès a été fortement métamorphosé, il devient très-compacte, il a une cassure conchoïde et un éclat gras. Sur les bords des fragments, il peut même se fondre dans le basalte.

Enfin, il importe surtout de signaler dans le grès métamorphique l'existence de cavités qui ont plusieurs centimètres, et dont l'intérieur est tapissé de cristaux bien caractérisés de zéolithes. L'analyse nous démontre en effet, que le grès métamorphique a été imprégné de zéolithes; par conséquent ces cavités nous font voir, sous un fort grossissement, ce qui s'est produit dans les interstices microscopiques qui séparent les grains de quartz.

— J'ai fait des analyses du grès normal et du grès métamorphique de Blaue Kuppe. Ce dernier était simplement décoloré et un peu durci; on y distinguait encore les paillettes de mica. Il provenait de la carrière au sud-ouest de la montagne.

Les deux grès ont été attaqués par l'acide chlorhydrique, et après évaporation de l'acide, la silice du résidu a été dissoute par le carbonate de soude. Le but de ce premier essai était de déterminer la proportion de chacun des grès, qui était soluble dans l'acide. Dans

La vitrification de ce grès par la chaleur indique déjà un deuxième essai, ces mêmes grès ont été attaqués au creuset de platine par le carbonate de soude, afin de comparer leur composition moyenne.

COMPOSITION.	*Grès normal*			*Grès métamorphique*		
	attaqué par					
	l'acide chlorhydrique.		le carbonate de soude.	l'acide chlorhydrique.		le carbonate de soude.
Résidu insoluble dans l'acide . .	86.44	77.94	»	95.63	90.93	»
Silice.		8.50	77.15		4.70	82.25
Alumine et peu d'oxyde de fer.	. . .	7.31	14.94	. . . . .	2.25	12.25
Chaux	. . .	0.64	1.75	. . . . .	0.15	1.05
Magnésie.	. . .	0.92 (diff.)	1.39	. . . . .	0.53	0.81
Soude	. . .	0.13	1.52 (diff.)	. . . . .	0.24	2.44 (diff.)
Potasse.	. . .	0.31		. . . . .	0.23	
Eau.	. . .	3.25	3.25	. . . . .	1.20	1.20
Totaux. . .	. . .	100.00	100.00	. . . .	100.23	100.00

Il devient très-simple maintenant d'apprécier les modifications subies au contact du basalte par le grès bigarré métamorphique.

Ce grès s'attaque moins facilement par l'acide que le grès bigarré normal. Cela peut tenir à ce que les substances minérales solubles qu'il renfermait ont été en partie détruites, ou plutôt à ce qu'elles se sont engagées dans des combinaisons vitreuses qui sont peu attaquables. Avant le métamorphisme, les parcelles argileuses provenant de la trituration des roches feldspathiques devaient, d'ailleurs, s'attaquer fortement par l'acide.

Le grès métamorphique du Blaue Kuppe contient moins d'eau que le grès normal ; cependant on verra que quand le grès est plus complétement métamorphosé, de manière à prendre un éclat lustré et vitreux, il peut renfermer plusieurs centièmes d'eau.

La quantité d'oxyde de fer m'a paru être restée à peu

près la même dans le grès décoloré du Blaue Kuppe. S'il a perdu sa couleur rouge, cela doit être attribué à ce que l'oxyde de fer est entré en combinaison.

La chaux et la magnésie ont un peu diminué. L'alumine et les alcalis ont, au contraire, augmenté. Il importe surtout d'observer que la silice a augmenté de plusieurs centièmes. Ce résultat peut paraître extraordinaire; mais d'autres recherches, que je ferai connaître bientôt, viendront le confirmer.

La composition du grès est assurément très-variable; mais les différences que le grès normal et le grès métamorphique présentent dans leur composition peuvent s'expliquer en admettant, soit une dissolution de certaines bases; soit, au contraire, une introduction de silice. Cette silice paraît d'ailleurs avoir été accompagnée par de l'alumine et des alcalis. Il est très-vraisemblable que les deux causes ont agi simultanément, et qu'elles résultent du même phénomène. Quoi qu'il en soit, l'analyse fait connaître pour chaque substance la perte ou le gain qui a eu lieu dans le métamorphisme.

Basalte et Grès bigarré.

Kupfergrube. — A Kupfergrube, près de Wünschensuhl, dans les environs d'Eisenach, le grès bigarré a été également métamorphosé par un basalte. Ce basalte ne présente rien de particulier, si ce n'est qu'il renferme un grand nombre de cavités qui sont remplies par de la chaux carbonatée et par de la sphérosidérite.

J'ai examiné spécialement une variété de grès vitreux dans lequel le métamorphisme est encore plus complet que dans les grès dont j'ai parlé jusqu'à présent. Sa couleur rouge a disparu, et il est grisâtre, jaspé de noir bleuâtre. Son éclat est lustré et semi-vitreux. Il est sonore, dur, mais fragile comme du verre. Il a une cassure esquilleuse et tranchante. Les bords de ses fragments sont légèrement translucides. Il ne contient pas de carbonates. Calciné, il devient blanc et opaque; en même

temps, il perd 4,07 p. 100 d'eau. Sa densité est 2,387; elle est faible comme celle de tous les grès vitrifiés; par la calcination, elle augmente un peu et elle s'élève à 2,424. Il s'attaque assez fortement par l'acide chlorhydrique, et il donne même un peu de silice gélatineuse; le résidu pèse 91,13 p. 100.

Ce grès a été plus complétement métamorphosé que d'autres fragments empâtés dans le basalte de Kupfergrube; mais, bien qu'au premier abord il paraisse avoir été vitrifié, ses grains de quartz sont encore parfaitement distincts; ils n'ont pas été directement soudés l'un à l'autre par la fusion ignée de quartz; ils sont seulement pénétrés et cimentés par un hydrosilicate qui se comporte comme les zéolithes.

Allemagne. — Il existe encore d'autres gisements en Allemagne dans lesquels le grès bigarré a été imprégné de zéolithes par le basalte. Les métamorphoses que ce grès a éprouvées ne diffèrent pas de celles que je viens de décrire. Sa structure est souvent prismatique, quelquefois même, comme à Johnsdorf, le grès se divise en prismes qui sont la continuation de ceux du basalte. Généralement le grès a été décoloré. Il est devenu lithoïde. Il a pris un éclat lustré et il peut même être amené plus ou moins à l'état de fusion.

Parmi les principaux gisements on peut citer Cassel près de Gelnhausen; les environs d'Eisenach et notamment Pflasterkaute; le Calvaire près de Fulda; Gross-Wallstadt près d'Aschaffenbourg; Johnsdorf près de Zittau (1).

— Il est bon d'observer que le grès zéolithique passe plus ou moins à un grès à structure vitreuse. L'étude

(1) Von Leonhard. *Die Basalt gebilde*, t. II, p. 359. — Petzholdt. *Geologie*, p. 422.

du grès vitrifié nous occupera d'ailleurs d'une manière spéciale.

Les roches trappéennes renferment pour la plupart des zéolithes; mais tandis qu'il y en a très-fréquemment dans les basaltes, il est rare au contraire d'en trouver dans les diorites. D'un autre côté le développement des zéolithes dans les grès est intimement lié à leur présence dans la roche trappéenne, car on vient de voir que les roches siliceuses imprégnées de zéolithes sont généralement en contact avec des basaltes; c'est donc bien évidemment de la roche trappéenne que proviennent les zéolithes qui se sont développées dans la roche encaissante.

§ 94. *Terre verte.* — Nous avons déjà constaté que le grès en contact avec le trapp a souvent éprouvé un métamorphisme remarquable par suite duquel il a pris une couleur verte (Comber, Scrabo, § 90); il importe maintenant d'étudier ce métamorphisme d'une manière spéciale dans des gisements où il soit bien caractérisé et où d'autres phénomènes ne viennent pas le masquer. Signalons d'abord quelques gisements de ce genre dans le Palatinat.

Mélaphyre et Grès houiller. **Palatinat.** — Le grès houiller du bassin de la Sarre a quelquefois été imprégné de terre verte ou du moins verdi près du contact du mélaphyre.

C'est, par exemple, ce qu'on observe au Geisberg, près d'un mélaphyre celluleux (1).

J'ai examiné un échantillon de grès du Geisberg qui a été pris sur le chemin de Duppenweiller. Il paraît pénétré par une pâte semblable à celle du mélaphyre, mais qui est cependant plus tendre. Sa couleur est verdâtre, elle devient brune par altération. Il ne contient pas de carbonate. Sa perte au feu est de... 11,80. Il se fritte légèrement par la calcination.

(1) E. Jacquot. *Bassin houiller de la Sarre*, p. 174.

Au sommet du Mont-Tonnerre, au Patchenhof, il y a également un grès métamorphosé au contact du mélaphyre. Il est très-schisteux, gris verdâtre, à structure microscopique. Il se divise en fragments pseudoréguliers. On y voit une pâte feldspathique et un peu de carbonate ferrifère. Sa perte au feu s'élève à...7,26.

A Scheuren, le grès houiller a de même été verdi au voisinage du mélaphyre. Il ne contient pas de carbonate; mais on y trouve de l'eau et il renferme beaucoup de pyrite de fer.

Voici maintenant un gisement dans lequelle grès est non-seulement verdi, mais visiblement imprégné de terre verte : c'est à Cushendall en Irlande.

Cushendall. — Sur la route de Cushendall à Carrick-Fergus, on rencontre un grès rouge qui est rapporté par M. Griffith au *New red sandstone.* Ce grès forme une arche qu'on traverse à la sortie de Cushendall et il borde le rivage de la mer, à Red-Bay, au pied de la montagne nommée le Glenariff. Quand on s'élève sur la montagne, on atteint bientôt la craie qui est recouverte elle-même par la nappe de trapp s'étendant dans tout le nord-est de l'Irlande. Trapp et Grès.

Ce terrain de grès est formé de grès proprement dit, de conglomérat et d'argilithe. Toutes ces roches ont une couleur rouge qu'elles doivent à de l'oxyde de fer. Mais au contact des filons de trapp qui les traversent, elles prennent une couleur verte. La différence tranchée entre les deux couleurs rend ici le métamorphisme bien évident, et l'on ne saurait douter qu'il n'ait été produit par le trapp.

J'ai étudié ce métamorphisme dans une grande carrière où le grès rouge et les roches qui lui sont associées sont traversés par deux filons ayant plus d'un mètre de puissance (Pl. V, *fig.* 1).

Le filon principal, qui est sur la droite, a une direc-

tion N. quelques degrés E. L'autre, sur la gauche, a une direction N.-O. Entre ces deux filons, il y en a plusieurs qui sont beaucoup plus petits.

Le grès, le conglomérat et l'argilithe sont en couches légèrement inclinées vers l'est ou vers le rivage de la mer. Ces roches ont perdu leur couleur rouge et elles ont pris une couleur verte près du contact du trapp; la couleur verte est d'autant plus foncée qu'elles sont plus rapprochées du trapp, et elle s'étend même jusqu'à plusieurs mètres du gros filon.

Conformément à la marche suivie dans ce mémoire, je vais décrire successivement le trapp, le grès rouge et le grès verdi; il me sera facile de faire connaître ensuite ce qui s'est produit dans le métamorphisme du grès.

Trapp. — Le trapp est vert foncé, schistoïde, tendre, à structure indiscernable. J'en ai fait un essai en l'attaquant par l'acide chlorhydrique; il perd alors sa couleur verte, mais il laisse un résidu blanc grisâtre formé de silice et de matière feldspathique inattaquée. La liqueur acide contient, du reste, les bases habituelles.

Trapp de Cushendall.

Résidu et Silice.	65,86
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie. . . .	22,66
Chaux.	2,67
Alcalis et perte. (Diff.).	2,21
Eau.	6,56
Acide carbonique	0,04
Somme.	100,00

Le trapp de Cushendall présente des particularités sur lesquelles il importe d'insister. En effet, il doit sa couleur à une terre verte qui ne me paraît pas différer de celle qu'on trouve dans le grès verdi. De plus, bien

qu'il renferme beaucoup d'eau, il contient à peine une trace de carbonate; tandis qu'il y en a souvent plusieurs centièmes dans le trapp.

Le filon de trapp est d'ailleurs bordé par une salebande verdâtre, très-friable et décomposée, ayant plusieurs centimètres. Elle est formée par de la chaux carbonatée blanche, fibreuse, et par de la terre verte.

Le métamorphisme produit par le trapp de Cushendall dépend sans aucun doute de ces particularités de son gisement et de sa composition.

Grès rouge. — Le grès rouge est à grain fin : c'est un grès quartzeux qui contient aussi des matières argileuses et de la chaux carbonatée. Il fait une effervescence très-vive dans l'acide, et il renferme 9,90 de carbonate de chaux. Il contient aussi un peu de carbonate à base de fer et de magnésie qui donne lieu à une effervescence lente; mais ce carbonate correspond seulement à 0,34 d'acide carbonique sur 4,68 qu'il y a dans la roche. La densité du grès rouge est... 2,585. Sa perte au feu est de... 9,10. Il s'écrase facilement entre les doigts. De plus, il est très-poreux; par conséquent il se prêtait très-bien à une infiltration; il n'est donc pas étonnant que la terre verte colorant le grès verdi se soit répandue jusqu'à plusieurs mètres du filon.

Grès verdi. — Le grès verdi est complétement imprégné par une terre verte. Sa couleur est vert foncé, et au premier abord il ressemble à certaines variétés de grauwake. Sa terre verte a seulement rempli les interstices du grès, mais elle ne l'a pas cimenté, et il s'égrène toujours facilement. Le grès verdi contient, d'ailleurs, les grains de quartz hyalin et les matières argileuses qui forment le grès rouge. Par insufflation, il donne encore une odeur argileuse. Sa densité est... 2,467; elle est moindre que celle du grès rouge. Quand on

le calcine, il change complétement d'aspect, et il devient rouge brique; il est donc évident que sa couleur verte ne peut pas être attribuée à ce qu'il aurait été fortement chauffé par le trapp.

Il fait effervescence dans l'acide chlorhydrique, et pour décomposer complétement le carbonate, il est nécessaire de chauffer légèrement la liqueur acide; par suite, il contient un peu de carbonate de fer et de magnésie. Du reste, le carbonate de chaux s'y montre quelquefois en lamelles blanches et spathiques.

Sa perte au feu, due au dégagement de l'eau et de l'acide carbonique, est de... 6,80; elle est moindre que celle du grès rouge.

Lorsqu'on considère le grès qui se trouve au contact immédiat du filon, elle est moindre encore. A la salebande, j'ai recueilli, en effet, un conglomérat vert formé de fragments de grès cimentés par la pâte même du trapp, et non pas simplement imprégnés de terre verte. Au lieu de se désagréger avec les doigts, ce conglomérat se brise difficilement; sa cassure est esquilleuse et feldspathique. Le métamorphisme s'est visiblement exercé avec beaucoup plus d'intensité qu'à une distance plus grande. Cependant les cailloux de quartz n'ont pas été dissous, et ils sont même facilement reconnaissables. Je remarquerai toutefois que ce conglomérat pétrosiliceux ne contient que très-peu de carbonate, et que sa perte au feu est seulement de... 2,69; par conséquent la perte au feu du grès verdi diminue à mesure qu'on se rapproche du filon.

J'ai fait des essais comparatifs du grès rouge et du grès verdi appartenant à une même couche. Ces deux grès ont été pris entre les filons principaux de la carrière de Cushendall, et ils présentaient, d'ailleurs, les caractères que je viens de leur assigner.

	Cushendall.		
	Grès rouge.	Grès verdi.	
Résidu insoluble.	78,24	67,65	77,90
Silice.		10,25	
Alumine.	5,34	1,97	
Oxyde de fer.		4,37	
Magnésie.	1,66	4,55	
Protoxyde de manganèse. .	»	traces.	
Chaux.	5,60	3,52	
Soude.	0,45	0,73	
Potasse.	0,38	0,59	
Eau.	4,36	4,48	
Acide carbonique. . .	4,68	2,32	
Somme.	100,76	100,43	

Les deux grès s'attaquent par l'acide chlorhydrique et avant comme après le métamorphisme, ils contiennent des alcalis. Indépendamment des carbonates, l'acide décompose donc partiellement des silicates, notamment de l'argillithe, et ses réactions sont assez complexes.

Quoi qu'il en soit, il résulte des analyses précédentes que le grès verdi de Cushendall renferme moins d'acide carbonique et moins de chaux que le grès rouge. Il renferme, au contraire, plus de magnésie.

Le résidu insoluble dans l'acide et la quantité d'eau sont, d'ailleurs, à très-peu près les mêmes. La différence que les deux grès présentent dans leur composition est donc très-faible et beaucoup moindre qu'on ne serait tenté de le croire d'après la différence tranchée de leurs couleurs.

Formation de terre verte et perte de carbonate.

Si l'on traduit en langage géologique ces résultats de l'analyse chimique, on peut dire que dans le grès rouge de Cushendall, le carbonate de chaux a disparu plus ou moins complétement pour faire place à du carbonate de fer et de magnésie; mais la quantité de carbonate a ce-

pendant beaucoup diminué. En même temps, le grès a été imprégné par une terre verte magnésienne : ainsi il y a eu formation de terre verte et perte de carbonate. Quant au quartz, il est resté à l'état hyalin. La porosité du grès explique, d'ailleurs très-bien, comment le métamorphisme a pu s'exercer jusqu'à plusieurs mètres du filon. Le métamorphisme remarquable de Cushendall est caractérisé par la terre verte ; or comme ce minéral contient de l'eau et se forme souvent par infiltration, on doit admettre que le métamorphisme lui-même est dû à une action aqueuse. C'est ce qui est encore confirmé par la présence de l'eau, de carbonates et de pyrite de fer dans les grès qui ont pris la couleur verte.

— GRÈS CALCAIRES.

Je désigne sous le nom de grès calcaires ceux qui contiennent une forte proportion de carbonate de chaux ou de dolomie. Il est facile de comprendre que le métamorphisme qu'ils éprouvent au contact des roches trappéennes est une sorte de moyenne entre celui des roches siliceuses et celui des roches calcaires. Ainsi la quantité de carbonate qu'ils renferment a pu être légèrement diminuée ou bien au contraire augmentée. Mais le plus souvent ils ont été imprégnés de zéolithes et de terre verte. Quelques exemples suffiront pour mettre ces faits en évidence.

§ 95. *Zéolithes.* Trapp et Grès calcaréo-magnésien.

Cultra. — A Cultra, près de Belfast, des filons de trapp traversent un grès calcaire dans lequel sont intercalées des couches de dolomie. Cette dolomie est assez abondante pour qu'elle ait fait l'objet d'une exploitation spéciale, et on l'expédiait en Angleterre où elle servait à fabriquer du sulfate de magnésie. Il résulte des recherches de MM. Griffith, Bryce, King et Mac Adam que le grès et le schiste argileux qui l'accompagne appartiennent au *magnesian limestone.*

Le gisement de Cultra est très-intéressant et je l'ai visité avec M. le professeur Th. Andrews, de Belfast. Il est représenté par la Pl. V, *fig.* 9. Les filons de trapp ne sont bien visibles que quand la marée est très-basse. Ils s'éloignent de la plage, et leur direction est à peu près perpendiculaire au rivage. Dans la partie de la plage représentée sur la figure, ils sont au nombre de sept; mais quatre d'entre eux seulement sont encaissés dans le grès calcaire : ce sont ceux désignés par t_1, t_2, t_3, t_4.

Le grès calcaire *s* est généralement rouge, quelquefois avec des taches gris bleuâtres. Les couches de dolomie *d* qu'il renferme ont une couleur jaune vif. Au contact des dykes, cette dolomie a éprouvé une légère altération. Quelquefois est elle devenue un peu plus tendre et sa couleur est bleuâtre; mais le plus ordinairement sa couleur est restée la même.

Quant au grès, il est bien visiblement altéré par les dykes. Ainsi, au contact de t_1, il devient brun et vert comme dans le gisement de Comber (p. 241). Au contact de t_2, t_3, t_4, il devient jaunâtre.

Il m'a paru intéressant d'examiner le trapp de Cultra, ainsi que le grès rouge et le grès jaune. Tous les échantillons de ces roches que je vais décrire, ont été pris au filon t_2 et près de son contact.

Trapp. — Le trapp de Cultra est vert grisâtre, confusément cristallin et amygdalaire. Ses amandes sont formées par une zéolithe blanche, à éclat un peu gras et légèrement fibreuse, ainsi que par une argile ferrugineuse vert clair, translucide et très-douce au toucher. Elles renferment aussi une matière charbonneuse noire, comme celle qu'on trouve dans le trapp de la Chaussée des Géants.

Le trapp de Cultra contient de l'eau et des carbo-

nates, mais son effervescence est très-lente avec l'acide chlorhydrique et elle demande le secours de la chaleur; le carbonate de ce trapp est donc à base de fer et de magnésie. Il perd du reste son acide carbonique quand on le calcine au rouge à une température inférieure à celle de la décomposition du carbonate de chaux. J'ai trouvé qu'il renferme :

Eau.	3,94
Acide carbonique.	6,34
Sa perte au feu est donc de. .	10,28

Il importe de remarquer que le trapp de Cultra est riche en carbonates; par conséquent il est possible qu'il ait imprégné de carbonates le grès qui se trouve à son contact (§ 90).

Grès rouge. — Le grès traversé par le trapp a une couleur rouge qu'il doit à de l'oxyde de fer disséminé. Il est essentiellement quartzeux, mais il contient aussi de l'argilithe, des paillettes de mica blanc et des carbonates. Quand on le calcine il prend une couleur rouge brique un peu plus vive. Sa densité est... 2,488. Il est très-friable et il s'égrène facilement entre les doigts. Il est partiellement attaqué par l'acide chlorhydrique avec lequel il est nécessaire de le faire bouillir longtemps, pour que sa couleur rouge disparaisse. Le carbonate mélangé à ce grès rouge est essentiellement le carbonate de chaux; mais une petite partie fait cependant une effervescence très-lente; il y a donc aussi un peu de carbonate de magnésie et de fer. A une température rouge inférieure à celle de la décomposition du carbonate de chaux, il perd 3,15; sa perte totale par calcination est d'ailleurs 6,80. Son analyse a été mise en regard de celle du grès jaune (p. 268).

Grès jaune. — Le grès jaune ne diffère pas autant du grès rouge qu'on pourrait le croire au premier abord.

Sa couleur est jaune nankin et il est moins friable ; mais on y distingue encore les grains de quartz et les paillettes de mica blanc d'argent. Dans l'acide il fait une effervescence d'abord vive, puis assez lente ; par conséquent outre le carbonate de chaux il s'y trouve du carbonate de magnésie et surtout du carbonate de fer.

A une température rouge inférieure à celle de la décomposition du carbonate de chaux, sa perte par calcination est un peu supérieure à la quantité d'eau qu'il renferme. Quand on le calcine il devient rouge brique, comme le grès rouge, duquel on ne pourrait plus le distinguer.

Si l'on considère spécialement le grès jaune qui est au contact immédiat du trapp, et dont l'analyse va être donnée immédiatement, on trouve que sa densité est... 2,475. Ce grès a beaucoup de cohésion, et il est visible que ses grains ont été réunis par un ciment. Quand on le calcine, il se vitrifie très-facilement. On y distingue d'ailleurs de petits points qui ont fondu en un verre blanc ; ils proviennent sans doute d'une zéolithe qui s'est infiltrée entre les grains de quartz hyalin, et qui forme des nodules blancs microscopiques donnant à la roche une structure oolithique. La présence d'une zéolithe dans le grès de Cultra est d'ailleurs confirmée par la séparation de silice gélatineuse, quand on le fait bouillir avec de l'acide.

J'ai fait des analyses comparatives du grès rouge et du grès jaune de Cultra.

Le grès rouge (I) a été pris à 1 mètre environ du filon de trapp.

Le grès jaune a été choisi sur la même direction et près du même filon. J'en ai examiné deux échantillons, l'un (II) à quelques décimètres du trapp, l'autre au

contact immédiat (III). Ces roches ont été attaquées par l'acide chlorhydrique, et elles ont donné :

	Grès rouge.	*Grès jaune.*		
	I.	II.	III.	
Quartz et résidu insoluble .	80,44	79,13	57,21	64,74
Silice.			7,53	
Alumine.	4,86	4,00	5,05	
Oxyde de fer.			0,32	
Protoxyde de manganèse.	»	traces.	traces.	
Chaux.	6,16	6,63	13,79	
Magnésie.	0,56	0,69	0,88	
Soude.	0,80	0,80 (Diff.)	0,66	
Potasse.	0,50		0,33	
Eau.	2,12	2,70	3,65	
Acide carbonique. .	4,68	6,05	10,60	
	100,12	100,00	100,02	

Remarquons d'abord que le grès calcaire de Cultra présente une composition assez variable, même lorsqu'on considère des couches peu distantes. Il en résulte que les différences dans la composition du grès peuvent tenir en partie à sa composition originaire et non pas seulement à l'action de la roche trappéenne, qu'il est par cela même assez difficile d'apprécier.

Cependant si l'on compare d'abord le grès rouge au grès jaune, on voit que leur composition est à peu près la même. C'est du moins ce qui a lieu pour (I) et (II).

Le grès jaune (III) est au contraire plus riche en carbonates.

Si l'on compare maintenant les grès jaunes entre eux, celui qui est au contact immédiat du trapp a beaucoup de cohésion et se brise difficilement. On y distingue des nodules blancs et microscopiques qui fondent avec facilité. Il contient plus d'eau. Quand on

l'attaque par l'acide, il donne de la silice gélatineuse; par suite il a été imprégné par une zéolithe.

L'analyse montre en outre qu'il contient plus de carbonates. Or si l'on admet que les grès jaunes (II) et (III) appartiennent absolument à la même couche, on devra en conclure que le grès a aussi été imprégné de carbonates au contact du trapp.

J'observerai toutefois que l'eau de la mer peut avoir imprégné le grès avec des carbonates provenant de la décomposition du trapp. Je rappelle de plus que les variations assez grandes, signalées dans la composition minéralogique des couches du grès, jettent ici quelque incertitude sur leur métamorphisme.

Édimbourg. — Aux environs d'Édimbourg, il existe des gisements très-nombreux dans lesquels on peut observer le contact du trapp avec le grès calcaire du terrain houiller. § 96. *Terre verte.* Trapp et Grès calcaire.

Le métamorphisme produit par le trapp a été décrit par les partisans de Hutton avec l'exagération qu'amène généralement la discussion de toute théorie nouvelle; mais, quoi qu'il en soit, le mont Saint-Léonhard, Salisbury-Craig, Holyrood, le lac Duddingstone, Arthurs-Seat et la ville même d'Édimbourg, sont des localités très-intéressantes à explorer pour l'étude du métamorphisme de contact. S. A. I. le prince Napoléon, qui les a visitées récemment, en a rapporté une belle collection géologique qui met bien en relief les phénomènes de métamorphisme produits par le trapp dans le grès calcaire.

Dans les environs d'Édimbourg, le grès inférieur du terrain houiller est quartzeux et généralement coloré en brun ou en rouge par de l'oxyde de fer. Il contient de la chaux carbonatée, quelquefois en proportion très-considérable. Il renferme accidentellement un peu de

galène, de blende et de baryte sulfatée. Des argiles schisteuses vertes ou grisâtres y sont intercalées (1).

Au contact du trapp il arrive souvent que le grès calcaire n'a subi aucune altération. Dans quelques cas le grès devient compacte, blanchâtre, ou bien au contraire il prend une couleur verte. Quelquefois aussi il est jaspé. Pour apprécier le métamorphisme qui s'est produit, je vais décrire ce que j'ai observé sur un échantillon d'Édimbourg, qui a été mis à ma disposition par M. Greenough.

Le trapp et le grès calcaire s'y trouvaient réunis.

Trapp. — Le trapp est celui qu'on désigne quelquefois en Écosse sous le nom de *whinstone*. Il a une couleur vert-noirâtre. Sa structure est indiscernable ; mais quand on le calcine il devient brun, et on y distingue des grains d'augite ainsi que des lamelles de labrador. Il fait dans l'acide une effervescence très-vive d'abord, puis lente ; il renferme du carbonate de chaux ainsi que des carbonates de magnésie et de fer. Un dégagement d'hydrogène sulfuré paraît indiquer qu'il contient aussi de la pyrite magnétique. J'y ai trouvé :

Résidu insoluble dans l'acide.	66,50
Eau.	2,88
Acide carbonique.	6,86

La grande quantité d'acide carbonique de ce trapp peut tenir à ce qu'il s'y est produit des infiltrations de chaux carbonatée provenant du grès même dans lequel il a été injecté. Toujours est-il qu'on voit des veines de chaux carbonatée blanche et spathique qui traversent à la fois le trapp et le grès, ou bien qui forment une petite salebande entre les deux roches (Pl. IV, *fig.* 28).

(1) A. Boué. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 188. — Collection du Palais-Royal.

Grès calcaire. — Le grès calcaire appartient aux assises inférieures du terrain houiller. Sa couleur est brun rougeâtre. Il est en grande partie composé de chaux carbonatée qui est en lamelles spathiques et entrecroisées. La terre verte qui colore le trapp s'est répandue jusque dans le grès, mais elle a rempli seulement quelques cavités isolées qui sont à une petite distance du contact.

Ce grès calcaire a une densité de... 2,689 qui est assez élevée. Il fait dans l'acide une effervescence très-vive et son analyse montre qu'il renferme 66,19 de chaux carbonatée; c'est donc plutôt un calcaire arénacé qu'un grès. Dans l'attaque par l'acide chlorhydrique, il se sépare de la silice floconneuse, comme si la roche était imprégnée de zéolithe. Le résidu insoluble est formé de quartz et d'argilithe rougeâtre.

J'ai trouvé, dans un essai fait sur la roche prise immédiatement au contact du trapp et débarrassée de la terre verte :

Grès calcaire d'Édimbourg.

Résidu insoluble.	22,00
Silice.	3,60
Oxyde de fer et un peu d'alumine. .	3,80
Chaux.	37,16
Magnésie.	0,36
Soude.	0,12
Potasse.	0,24
Eau.	2,30
Acide carbonique.	29,12
Somme.	98,70

Le grès calcaire d'Édimbourg présente des caractères minéralogiques et chimiques paraissant indiquer qu'il est imprégné de zéolithes; mais comme il contient de l'argilithe qui s'attaque partiellement par l'acide, on ne saurait calculer la composition ni la quantité de la

zéolithe qu'il renferme. Il est bien visible, au contraire, qu'il a été imprégné de terre verte; toutefois, dans l'échantillon qui vient d'être analysé, la terre verte s'est développée seulement dans certaines cavités.

Près de son contact avec le trapp, le grès calcaire peut aussi être complétement imprégné de terre verte et alors il prend lui-même la couleur verte; c'est ce que l'on observe quelquefois aux environs d'Edimbourg. C'est également ce qui a eu lieu à Cushendall ou un grès qui n'est qu'une variété de grès calcaire, puisqu'il contient environ 10 p. 100 de carbonate, a été verdi au contact du trapp (§ 94).

Staffordshire. — Le Staffordshire offre encore de nombreux exemples du métamorphisme exercé par le trapp sur les grès; et sur les grès calcaires. Ne les connaissant que par l'examen de la collection de M. Greenough, je me contenterai de les indiquer. Je remarquerai seulement que le métamorphisme éprouvé par ces roches est à peu près le même qu'en Écosse.

— Les minéraux signalés jusqu'à présent dans les roches siliceuses métamorphiques sont les plus habituels; mais il en est d'autres qui sont beaucoup plus rares, tels sont, l'épidote, la tourmaline et en général les minéraux des gîtes métallifères.

Je vais en citer quelques exemples dans différentes roches siliceuses.

§ 97. *Épidote et Tourmaline* *Trapp et Grès.* **New-Jersey.** — Dans l'État de New-Jersey, le trapp a modifié le grès jusqu'à plus d'un quart de mille de distance. En effet, près de Lambertsville et de Kingston, M. H. Rogers a constaté que le grès est rouge, quand il est à l'état normal. Mais jusqu'à une grande distance du trapp, il se charge de concrétions d'épidote vert pistache, qui sont disposées suivant la stratification et qui atteignent plusieurs centimètres.

Plus près du trapp, il prend une couleur foncée et devient plus compacte; en outre, il contient un très-grand nombre de concrétions noires qui ont au plus la grosseur d'une noisette, et qui sont formées par de la tourmaline. Enfin, au contact même du trapp, le grès a une couleur gris foncé, et il est entièrement pénétré de cristaux de tourmaline.

Ainsi le grès de New-Jersey a été métamorphosé par le trapp de la manière la plus remarquable; car, indépendamment du métamorphisme habituel, il a été imprégné jusqu'à une grande distance par de l'épidote et par de la tourmaline.

MM. Dana et H. Rogers font observer que le développement de ces minéraux ne peut être attribué qu'à de la vapeur d'eau qui aurait pénétré le grès à une haute température (1).

§ 98. *Minéraux des gîtes métallifères.* Trapp et Quartzite.

—Les trapps qui traversent le terrain silurien de l'Angleterre sont fréquemment en contact avec des roches siliceuses. Sir Roderick Murchison observe même que dans leur voisinage ces roches peuvent être métamorphosées en *quartz-rock* ou en quartzite (1). On en voit, en effet, un exemple à Cardington Hill, où un quartz-rock provenant du grès de Caradoc se trouve au contact du trapp (Pl. V, *fig.* 2).

Il faut remarquer cependant que le quartz-rock n'est pas généralement au contact du trapp, ni même dans son voisinage. Presque toujours, il s'est formé sur une grande échelle, indépendamment de toute roche éruptive, et il résulte surtout d'un métamorphisme normal.

Mais ce qu'il importe de noter spécialement ici, c'est que l'éruption du trapp, à travers les roches siliceuses,

(1) H. Rogers. *Report on the geological survey of the state of New-Jersey*, 1836, p. 161.

(2) *The Silurian System*, by Sir R. J. Murchison.

a quelquefois été accompagnée de filons métallifères; car, dans le pays de Galles, les minerais de cuivre et de plomb s'exploitent assez souvent près du contact du trapp et dans des roches siliceuses altérées qui appartiennent au terrain silurien.

— Je passe maintenant en revue les principales métamorphoses que les roches siliceuses ont éprouvées dans leur structure.

Ces métamorphoses ont déjà été décrites pour la plus grande partie, car elles accompagnent ordinairement le développement des divers minéraux métamorphiques.

En effet, le grès métamorphosé passe par une foule d'états intermédiaires, non susceptibles d'être définis avec précision, mais qui sont cependant assez bien caractérisés par les altérations de sa structure. En même temps, sa couleur a changé; il est devenu dur et pierreux. De plus, ses grains ont été cimentés, soit par les éléments même du grès, soit par des minéraux introduits, et notamment par des zéolithes.

Toutes ces métamorphoses s'observent très-bien dans les gisements que nous avons déjà décrits et dans lesquels le basalte se trouve en contact avec le grès bigarré.

§ 99. *Structure prismatique.* Basalte et Grès bigarré.

Allemagne. — On se rappelle, en effet, que le grès prend quelquefois une structure prismatique près du basalte. Wildenstein en offre surtout un exemple très-remarquable (p. 249). Les prismes sont à peu près perpendiculaires aux parois du filon. Ils ont une petite section, mais leur longueur peut atteindre 2 mètres.

Du reste, le grès prismatique qui est en contact avec le basalte renferme toujours de l'eau, lors même qu'il a été vitrifié. Bien que sa structure doive être attribuée à des retraits provenant de la chaleur, il n'a donc qu'une analogie assez éloignée avec le grès prismatique qui se produit dans les hauts-fourneaux.

Thuringerwald. — M. Credner a observé le méla- **Mélaphyre**
phyre en contact avec le grès houiller à Lindenberg, près **et Grès houiller.**
d'Ilmenau, dans le Thuringerwald. Ce grès est aussi devenu prismatique et sa cassure est conchoïde (1). On voit, par conséquent, que le grès prismatique présente les mêmes caractères, qu'il soit en contact avec le mélaphyre ou bien avec le basalte.

— Lorsque le métamorphisme est faible, la structure § 100.
devient simplement lithoïde. Le grès, qui était friable *Structure*
et fragile, s'endurcit et prend de la cohésion. *lithoïde.*
On en a déjà vu plusieurs exemples et il serait facile d'en mentionner pour toute espèce de roche trappéenne. Ainsi, dans le Tyrol, à Campo Agnosco, entre les vallées de Monzoni et de San Pelegrino, ce métamorphisme s'observe même au contact de l'hypérite.

Lorsque le métamorphisme est énergique la roche devient très-compacte. C'est d'ailleurs le cas le plus habituel, quand le grès a été imprégné par des zéolithes.

—Le grès métamorphique peut avoir aussi une struc- § 101.
ture celluleuse. Il est d'ailleurs facile de comprendre *Structure celluleuse.*
qu'elle a dû se produire lorsqu'il a été ramolli ou bien fondu et que des gaz se sont dégagés de son intérieur. Généralement ce grès a pris en même temps une structure vitreuse, et par conséquent le métamorphisme qu'il a subi a été très-énergique. Il a été fréquemment imprégné de zéolithes. De plus, ses cellules contiennent quelquefois des minéraux, notamment des carbonates, des zéolithes, de la terre verte, de la chlorite.

Quelques exemples vont rendre ces faits plus sensibles.

---

(1) *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, t. VIII, p. 654. — *Ueber den Melaphyr*, von F. von Richthofen.

a quelquefoi
car, dans le p
de plomb s'e
du trapp et
partiennent a
— Je passe
morphoses q
leur structu
Ces métam
grande parti
développeme
En effet,
d'états inte
avec précisi
ractérisés pa
temps, sa c
reux. De pl
éléments m
duits, et no
Toutes ce
les gisemen
quels le bas

§ 99. ructure matique. Basalte ès bigarré.

Allemagn
prend quel
basalte. Wi
remarquabl
perpendicul
section, ma
Du reste,
le basalte re
été vitrifié.
des retraits
analogie ass
produit dans

L Si-
re
t.
de
s à

aci-
cellu-
des
la pâte
s à
s sont

riche en
on que
de... 1.90.
vert
la pâte du
sorte de sale-
aussi d'un peu de
et comme scoriacée.
chlorite ferrugineuse et
La présence de ce
t plus remarqua-
à peine efferves-

blanche, un éclat un
ment la structure
concentriques blanches

eux, empâté dans
perte de... 10,30,

t. II. p. 230.

qui est due à de l'acide carbonique et à de l'eau. En même temps, il s'est fritté dans sa partie centrale, tandis que la zone au contact de la salebande celluleuse carbonatée, a résisté au feu, dans lequel elle a pris une couleur blanc mat; il est visible qu'elle ne contient pas d'alcalis.

Ce grès, empâté dans le basalte d'Essey, rappelle complétement par son aspect celui de Wildenstein. Il est seulement plus complétement imprégné par une zéolithe. On y voit même de petites fibres zéolithiques, blanches et radiées qui divergent de son centre.

J'ai déjà signalé antérieurement les zéolithes dans la plupart des roches siliceuses dont le métamorphisme a été étudié. Elles existent dans les silex au contact du trapp de l'Irlande, et on les retrouve souvent dans le grès empâté par le basalte. Il semblerait donc que les zéolithes aient eu une tendance particulière à se former en présence d'un excès de silice. Cette tendance se manifeste du reste jusque dans les amygdaloïdes des roches trappéennes, où elles sont assez souvent associées à du quartz et à de la calcédoine.

— Enfin le grès métamorphique peut prendre une structure vitreuse. Quelquefois même ses grains se fondent et disparaissent complétement. § 102. *Structure vitreuse.*

Je distinguerai deux sortes de grès vitrifié. Le premier est un verre généralement très-imparfait dans lequel on distingue encore très-bien les grains de quartz. Sa couleur est blanche. Son éclat lustré et même un peu gras. Sa dureté est faible. Souvent il donne de la silice gélatineuse ou floconneuse quand on l'attaque par l'acide; dans ce dernier cas, il a été imprégné de zéolithes et c'est un grès zéolithique. Il a déjà été décrit et je ne m'y arrêterai pas plus longtemps. Je remarquerai seulement qu'il n'y a pas de limite tranchée entre le grès

Dolérite et Grès. **Hartfort.** — Dans le Connecticut, à Hartfort, M. Sillimann a observé une dolérite qui donne une structure celluleuse au grès avec lequel elle se trouve en contact. Les cellules se sont formées jusqu'à une distance de $0^m,65$; elles diminuent de nombre et de dimensions à mesure qu'on s'éloigne de la dolérite (1).

Basalte et Grès. **Essey.** — Le basalte de la côte d'Essey renferme accidentellement des fragments de grès à structure celluleuse. Ces fragments peuvent être arrondis comme des noyaux, et même se fondre complétement dans la pâte du basalte. Il arrive souvent qu'ils sont scoriacés à leur circonférence, ou bien, au contraire, qu'ils sont cariés vers leur centre.

Le basalte enveloppant est vert foncé et paraît riche en silice. Il contient du péridot, et, dans l'échantillon que j'ai examiné, sa perte au feu est seulement de... 1,90.

Le noyau de grès empâté, est bordé par une zone vert jaunâtre, qui se fond insensiblement dans la pâte du basalte (Pl. IV, *fig.* 27). Cette zone est une sorte de salebande formée aux dépens du grès et aussi d'un peu de basalte. Elle est très-celluleuse et comme scoriacée. Dans ses cavités il y a de la chlorite ferrugineuse et surtout du carbonate de magnésie. La présence de ce carbonate autour du grès est d'autant plus remarquable, que le basalte enveloppant fait à peine effervescence avec l'acide.

Le grès a d'ailleurs une couleur blanche, un éclat un peu gras, et l'on y reconnaît difficilement la structure arénacée. Il présente des zones concentriques blanches et grisâtres.

J'ai calciné ce noyau de grès celluleux, empâté dans le basalte d'Essey, et il a éprouvé une perte de... 10,50,

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, t. II, p. 230.

qui est due à de l'acide carbonique et à de l'eau. En même temps, il s'est fritté dans sa partie centrale, tandis que la zone au contact de la salebande celluleuse carbonatée, a résisté au feu, dans lequel elle a pris une couleur blanc mat; il est visible qu'elle ne contient pas d'alcalis.

Ce grès, empâté dans le basalte d'Essey, rappelle complétement par son aspect celui de Wildenstein. Il est seulement plus complétement imprégné par une zéolithe. On y voit même de petites fibres zéolithiques, blanches et radiées qui divergent de son centre.

J'ai déjà signalé antérieurement les zéolithes dans la plupart des roches siliceuses dont le métamorphisme a été étudié. Elles existent dans les silex au contact du trapp de l'Irlande, et on les retrouve souvent dans le grès empâté par le basalte. Il semblerait donc que les zéolithes aient eu une tendance particulière à se former en présence d'un excès de silice. Cette tendance se manifeste du reste jusque dans les amygdaloïdes des roches trappéennes, où elles sont assez souvent associées à du quartz et à de la calcédoine.

— Enfin le grès métamorphique peut prendre une structure vitreuse. Quelquefois même ses grains se fondent et disparaissent complétement. § 102. *Structure vitreuse.*

Je distinguerai deux sortes de grès vitrifié. Le premier est un verre généralement très-imparfait dans lequel on distingue encore très-bien les grains de quartz. Sa couleur est blanche. Son éclat lustré et même un peu gras. Sa dureté est faible. Souvent il donne de la silice gélatineuse ou floconneuse quand on l'attaque par l'acide; dans ce dernier cas, il a été imprégné de zéolithes et c'est un grès zéolithique. Il a déjà été décrit et je ne m'y arrêterai pas plus longtemps. Je remarquerai seulement qu'il n'y a pas de limite tranchée entre le grès

zéolithique et le grès blanc plus ou moins vitrifié (§ 93).

Le deuxième grès vitrifié est toujours plus complétement vitreux. Il a une couleur noirâtre ou vert de bouteille. Son éclat est résineux. Il s'attaque peu par les acides et très-fortement par les alcalis. Sa dureté est généralement plus grande que celle du précédent; cependant elle reste inférieure à celle du feldspath. Il contient une assez forte proportion d'alumine, d'oxyde de fer et de magnésie. Dans certains cas, la présence de ces bases peut tenir à la composition originaire du grès; c'est ce qui a lieu quand il est très-argileux : mais l'étude de son gisement montre aussi qu'il a été pénétré par les éléments de la roche trappéenne.

Je vais citer quelques exemples de grès vitrifié et résineux. Il s'observe très-bien au contact des gros dykes de basalte, et il forme sur leurs bords une sorte de salebande. Il s'observe également autour des fragments de grès qui sont empâtés dans une roche trappéenne. Enfin, ce qui est plus remarquable encore, c'est que le grès prend la structure vitreuse et résineuse, même lorsqu'il est dans des conglomérats.

Conglomérat basaltique et Quadersandstein.

Rohrsdorf. — Ainsi, près de Rohrsdorf, en Saxe, MM. Naumann et Cotta (1) ont signalé un conglomérat basaltique qui renferme des fragments de quadersandstein. Or, tantôt ce grès est en fragments anguleux; tantôt, au contraire, il se fond dans la roche basaltique. Ses contours sont alors lobés, et il est visible qu'il a été corrodé et dissous (Pl. IV, *fig.* 26).

Conglomérat basaltique et Grès bigarré.

Blaue Kuppe. — Les mêmes faits se sont produits sur une plus grande échelle à Blaue Kuppe. On y remarque notamment un conglomérat basaltique dans lequel les

(1) Naumann und B. Cotta. *Geognostiche Beschreibung der Kœnigreiches Sachsen*, t. IV, p. 78.

fragments de grès bigarré sont très-petits et extrêmement nombreux. Or quoique le ciment basaltique soit tellement rare qu'on ait de la peine à le discerner, les fragments empâtés se fondent dans le ciment sur leurs bords; ils deviennent noirs, vitreux et même celluleux.

— Le grès métamorphique, lors même qu'il a pris une structure vitreuse au contact de roches trappéennes, n'est pas un verre proprement dit, mais un verre hydraté. On comprend, en effet, que dans un conglomérat comme celui du Blaue Kuppe, le ciment de basalte qui est à peine visible n'aurait jamais pu fondre par sa chaleur les fragments de grès qu'il entoure. Il est incontestable cependant, qu'un grès métamorphique ayant une structure vitreuse a nécessairement été ramolli; son quartz est devenu plastique; quelquefois même ses grains ont disparu, et ils ont été fondus ou du moins complétement dissous. Il faut donc admettre qu'un agent plus subtil que la roche trappéenne a pénétré le grès et l'a amené à l'état de fusion aqueuse. Cet agent, il est visible que c'est toujours l'eau; je vais d'ailleurs le démontrer en étudiant encore un grès vitrifié.

Stoffelskuppe. — Aux environs d'Eisenach, au Stoffelskuppe, le basalte empâte souvent du grès bigarré qui a pris à son contact une structure vitreuse. **Basalte et Grès bigarré.**

M. E. de Beaumont a visité ce gisement intéressant, dans lequel il a recueilli une collection qu'il a bien voulu mettre à ma disposition; voici les résultats de quelques recherches auxquelles je l'ai soumise.

Le basalte du Stoffelskuppe est bien caractérisé, et il contient beaucoup de péridot. Sa densité s'élève à... 3,006. Il ne renferme pas de carbonate, et sa perte au feu est de... 2,83.

Le grès bigarré a été fortement métamorphosé, et même au contact immédiat du basalte, il a été complé-

tement vitrifié. Il se divise en prismes irréguliers dont les arêtes sont tranchantes et les faces courbes. Sa couleur est grisâtre, verdâtre ou même vert de bouteille. Il a pris la fragilité du verre. Il est bien compacte, cependant, en l'examinant à la loupe, on y distingue quelques cellules microscopiques. Il ne renferme pas de carbonate.

Dans les parties les plus rapprochées du basalte, les grains de quartz du grès sont méconnaissables; ils forment des squelettes blanchâtres qui sont enveloppés dans une pâte vitreuse. Quand on le calcine, il passe au jaune ou au jaune brunâtre. Lorsqu'il est altéré à l'air il devient toujours rugueux et blanchâtre à sa surface.

I. Grès vitrifié, vert grisâtre, à $0^m,8$ du contact.

II. Grès complétement vitrifié, vert de bouteille, bordant immédiatement le basalte sur une zone de 3 centimètres.

	Densité.	*Eau.*	*Résidu insoluble dans* *l'acide.*	*Résidu insoluble dans* *la potasse.*
I.	2,326	5,93	88,16	55,78
II.	2,409	6,30	87,80	28,94

On voit que le grès vitrifié du Stoffelskuppe est fortement hydraté; c'est même au contact immédiat du basalte qu'il contient le plus d'eau. Constatons aussi que sa densité y devient plus grande et qu'il s'attaque plus aisément par l'acide. Mais il est surtout caractérisé par la facilité avec laquelle il s'attaque par la potasse. La lessive de potasse employée dans ces expériences comparatives était au 10° et on l'a chauffée avec le grès jusqu'à ce qu'elle eut pris une consistance sirupeuse; elle a dissous plus des deux tiers du grès qui est au contact immédiat.

J'observerai que les basaltes renfermant, comme au Stoffelskuppe, beaucoup de péridot et peu ou point de carbonates, ont généralement exercé un métamor-

phisme très-énergique : il me paraît donc que ces basaltes ont fait éruption à une température élevée.

J'observerai encore que le grès vitrifié au contact des roches trappéennes s'attaque très-peu par les acides et très-fortement par les alcalis. Toutes ses propriétés rappellent donc celles des verres. Les circonstances dans lesquelles il s'est formé sont d'ailleurs à peu près les mêmes que celles dans lesquelles il a été imprégné de zéolithes. Cependant, dans ce dernier cas, la température n'était pas nécessairement très-élevée, tandis qu'elle devait au contraire être fort élevée lorsque le grès a été complétement vitrifié.

Ainsi, les recherches précédentes démontrent que le grès vitrifié au contact des roches trappéennes a été chauffé à une haute température et converti en un verre hydraté. Quelquefois, il a été plus ou moins imprégné par la roche trappéenne elle-même ; il peut même avoir été complétement dissous. C'est ce qui a lieu surtout quand il est résineux et au contact de la roche trappéenne. Alors il paraît bien avoir éprouvé une fusion, mais c'était une fusion essentiellement aqueuse. Il est vraisemblable qu'à la chaleur s'est jointe l'action non moins efficace de l'eau et des bases, qui a dû contribuer pour une large part à la dissolution des roches siliceuses, et par suite à leur métamorphisme.

Je remarquerai maintenant que l'eau se trouve généralement en plus grande proportion dans le grès vitrifié que dans le grès normal ; par conséquent, il faut nécessairement admettre qu'elle provient de la roche trappéenne. Comme je l'ai établi dans une publication antérieure, cette eau est donc bien originaire, et elle n'a pas été introduite postérieurement par infiltration ou par décomposition (1).

(1) *Bulletin de la soc. géol.*, 2e série, t. VI, p. 393.

J'ajouterai même que certains grès vitrifiés au contact du basalte prennent des caractères qui rappellent complétement le rétinite; ils ont aussi une faible densité et ils se comportent de la même manière, soit avec les acides, soit avec les alcalis; je suis donc porté à croire que le rétinite peut résulter d'une action que les roches trappéennes et notamment les basaltes exercent dans l'intérieur de la terre, sur les roches siliceuses.

§ 103. *Structure jaspée.* — Le grès métamorphique présente assez souvent une structure jaspée. Il la doit à des veines parallèles à sa stratification qui sont modifiées diversement par la roche trappéenne, à cause des différences qu'offre leur composition. Ce sont surtout les veines argileuses qui deviennent bien distinctes et qui contribuent à donner la structure jaspée. Le métamorphisme qu'elles ont alors éprouvé sera étudié spécialement aux roches argileuses.

§ 104. *Salebande.* — Je vais maintenant signaler quelques particularités qui s'observent à la salebande des roches trappéennes, quand elles sont en contact avec les roches siliceuses.

Lorsque les roches trappéennes ont fait éruption à travers les roches siliceuses, il arrive quelquefois qu'elles en sont séparées par une salebande riche en silice, et qui, dans certain cas, peut être formée par du quartz pur.

Salebande siliceuse. Trapp et Quartzite.

Houth. — C'est ce qu'on observe à Houth, à 9 milles au nord de Dublin, où les roches siliceuses du terrain cambrien sont traversées par du trapp.

Le gisement peut être facilement étudié dans les falaises au bord de la mer, ou l'on voit un filon de trapp, ayant environ 10 mètres de puissance, qui envoie des ramifications dans le quartzite (*quartz-rock*) du terrain cambrien.

J'ai examiné divers échantillons de Houth que M. O'Sullivan avait mis à ma disposition.

Trapp. — Le trapp a une couleur vert-noirâtre fon-

cée; il est compacte, serpentineux, sans cristaux visibles. Il ne contient pas de carbonates. Il renferme beaucoup d'eau, car sa perte au feu est... 6,18. Lorsqu'il est calciné, il devient brun. Attaqué par l'acide chlorhydrique, il laisse un résidu de... 60 pour 100.

Quartzite. — Le quartzite a une structure schisteuse. Il renferme beaucoup de mica, et il peut même passer au schiste argileux micacé. Il ne contient pas de carbonate. On y trouve seulement 1,14 d'eau. Sa couleur est vert clair; mais près du trapp elle est vert blanchâtre sur 1 centimètre d'épaisseur. En même temps son grain, qui était fin, disparaît de plus en plus, et la roche devient compacte.

Entre le trapp et le quarzite, il y a assez généralement de petites veines de quartz blanc hyalin qui forment une salebande extérieure au filon. En outre, près du contact, tous les vides qui se sont formés, soit dans le trapp, soit dans le quartzite, sont remplis par du quartz blanc ou par de la calcédoine (Pl. V, *fig.* 4).

Ainsi, lorsque le trapp de Houth a fait éruption, le quarzite qu'il traverse, a été légèrement cimenté près de son contact et sur une épaisseur d'un centimètre; de plus, tous les vides qui se sont formés près des deux roches ont été remplis par de la silice.

Il me paraît, d'ailleurs, que cette silice provient non pas du trapp, mais bien du quartzite lui-même. Par conséquent le gisement de Houth donne sur une petite échelle un nouvel exemple d'une silicification qui est produite au contact de la roche éruptive par la roche encaissante elle-même (§ 57).

— Un phénomène semblable se produit quand une roche trappéenne traverse un grès calcaire. Mais alors, au lieu de quartz, on observe généralement une salebande formée de chaux carbonatée. Cette salebande se réduit le plus souvent à quelques millimètres; mais elle *Salebande calcaire.* Trapp et Grès calcaire.

se voit bien dans les grès calcaires du Staffordshire et des environs d'Édimbourg (Pl. IV, *fig.* 28).

La chaux carbonatée est blanche et spathique, quelquefois fibreuse. Il est visible qu'elle provient de la roche encaissante et qu'elle a rempli toutes les fissures par sécrétion ou par infiltration.

Tous ces faits concordent bien avec ceux que j'ai déjà signalés au contact des roches calcaires dans lesquelles la salebande est toujours riche en carbonate, quand elle n'en est pas exclusivement formée (§ 72).

Il est facile de comprendre, d'ailleurs, que la salebande des filons doit surtout participer des caractères de la roche encaissante, lorsque cette dernière est susceptible d'être dissoute : elle sera donc riche en carbonate dans les roches calcaires, et riche en quartz dans les roches siliceuses.

Résumé.

§ 105. *Résumé.* — *Roches trappéennes et Roches siliceuses.*

Les roches siliceuses sont en grande partie formées de quartz hyalin et elles résistent bien à la chaleur ainsi qu'aux agents chimiques. Il en résulte qu'il est facile de se rendre compte des changements qu'elles ont subis, lors même que leur métamorphisme a été très-intense. Quand elles ont été soumises à l'action de la chaleur, elles en conservent bien les traces, surtout lorsqu'elles sont compactes comme le quartz et le silex. D'un autre coté, lorsqu'elles sont arénacées, elles sont très-poreuses, en sorte qu'elles se laissent facilement pénétrer par la roche trappéenne, ou du moins par les émanations et les infiltrations qui en proviennent. Aussi les roches siliceuses sont-elles très-favorables à l'étude du métamorphisme de contact.

Les conditions et les limites dans lesquelles les roches siliceuses ont été métamorphosées, sont à peu près les mêmes que pour les roches calcaires.

Leur métamorphisme est d'ailleurs caractérisé par la

formation de certains minéraux et par des altérations dans la structure.

— Parmi les minéraux, il faut encore signaler les hydroxydes de fer et de manganèse ainsi que les carbonates. Ces carbonates sont : le carbonate de chaux, la dolomie et souvent, quand le grès a pris une couleur verte, le carbonate de fer (§ 90).

Quelquefois aussi l'on observe de la silice (§ 91).

Parmi les hydrosilicates, on a l'argile ferrugineuse, et surtout les zéolithes (§ 92, 93).

La terre verte pénètre intimement les grès auxquels elle donne sa couleur; mais leur quartz reste à l'état hyalin et il est altéré seulement à la surface ou dans les fissures (§ 94).

Les zéolithes manifestent une grande tendance à se développer dans les roches siliceuses; on les observe même dans celles qui sont très-compactes, notamment dans les silex. Le plus souvent elles forment une pâte blanchâtre qui remplit les interstices des grains de quartz. Cette pâte peut n'avoir pas toujours la composition d'une zéolithe définie; mais, quoi qu'il en soit, elle fond très-facilement, elle s'attaque par les acides et elle donne de la silice gélatineuse ou floconneuse; de plus, on y trouve les mêmes substances que dans les zéolithes. D'ailleurs les zéolithes forment aussi des nodules microscopiques. Enfin, dans quelques gisements, ils se montrent en beaux cristaux qui tapissent les cavités de la roche siliceuse métamorphique (p. 254).

La terre verte et les zéolithes paraissent correspondre à des modes d'action de la roche trappéenne qui sont différents.

L'épidote, la tourmaline, les minéraux des gîtes métallifères s'observent accidentellement dans les roches siliceuses métamorphiques (§ 97, 98).

Il arrive quelquefois qu'une roche trappéenne im-

prègne le grès qui se trouve à son contact et que son feldspath se développe dans ce grès. Mais dans les gisements que nous avons étudiés, ce métamorphisme est rare et il est toujours limité à une très-petite distance.

— Les roches siliceuses ont aussi éprouvé des altérations dans leur structure. qui est devenue prismatique, lithoïde, celluleuse, vitreuse ou même jaspée.

Lorsque la structure d'un grès a été modifiée, il perd sa couleur rouge et il devient blanc, gris, vert ou noirâtre. Il est sonore et sa cassure est esquilleuse. Quand il était friable, ses grains de quartz peuvent avoir été cimentés; mais lors même qu'il paraît tout à fait compacte, il est rare qu'on n'y retrouve pas des traces de sa structure arénacée.

Lorsqu'un grès est prismatique, ses prismes sont bien caractérisés et perpendiculaires à la surface de contact de la roche trappéenne. Ils ont une petite section, mais leur longueur peut être plus grande que dans aucune autre roche et quelquefois elle atteint 2 mètres. Ce grès prismatique contient encore de l'eau et il peut même en renfermer plusieurs centimètres, surtout lorsque son éclat est vitreux. A Blaue-Kuppe, sa proportion de silice et d'alcalis paraît avoir augmenté.

Lorsque le grès prend une structure vitreuse ou celluleuse, ce qu'on observe fréquemment au contact du basalte, il a subi un métamorphisme très-énergique. Il contient d'ailleurs de l'eau, et sa densité a diminué.

On peut distinguer deux sortes de grès vitrifié.

Tantôt ce grès est blanc; son éclat est lustré et un peu gras; sa dureté est faible; il s'attaque facilement par les acides et il donne même souvent de la silice gélatineuse ou floconneuse. Dans ce dernier cas, on doit admettre qu'il a été imprégné par une zéolithe (§ 93, 101, 102).

Tantôt, au contraire, le grès prend une couleur noi-

râtre ou vert de bouteille ; son éclat est beaucoup plus vitreux et en même temps légèrement résineux ; il s'attaque peu par les acides et très-fortement par les alcalis ; sa dureté est assez grande, bien qu'elle reste encore inférieure à celle du feldspath. Il contient toujours plusieurs centièmes d'eau. Il s'est changé en un verre hydraté qui se rapproche beaucoup du rétinite. C'est un grès vitrifié et résineux (§ 102).

Tandis que le grès vitrifié résineux se trouve près du contact de la roche trappéenne, le grès vitrifié zéolithique se forme quelquefois jusqu'à une assez grande distance.

Les caractères que présente le grès vitrifié dépendent d'ailleurs de sa composition originaire, de la quantité et de la nature des bases par lesquelles il a été imprégné, et aussi de la température à laquelle il a été chauffé.

— Les roches siliceuses sont rarement formées par de la silice pure. C'est ce qui a lieu cependant pour le quartz et pour le silex. On a vu que le silex peut être fendillé par l'action du trapp, imprégné par des zéolithes et par d'autres substances minérales (§ 83 à 88).

Quant au grès calcaire, il se comporte à peu près comme le grès ordinaire (§ 95, 96).

Enfin, lorsque le grès est très-argileux, son métamorphisme est le même que pour les roches argileuses.

Une roche siliceuse en contact avec une roche trappéenne est souvent cimentée ; mais elle ne se change pas pour cela en un agrégat de quartz hyalin, et elle ne prend pas, comme le calcaire, une structure entièrement cristalline.

— La roche siliceuse est fréquemment séparée de la roche trappéenne par une petite salebande. Les caractères de cette salebande sont dus surtout à la roche encaissante. Elle peut être siliceuse et formée de quartz

hyalin. Lorsqu'au contraire la roche siliceuse est calcaire, elle est formée de chaux carbonatée spathique (§ 104).

— Je terminerai par une remarque qui me paraît avoir une grande importance, car elle jette du jour sur l'origine des roches trappéennes. Il a été bien constaté que les silex et les grès métamorphiques renferment souvent une proportion d'eau plus grande que lorsqu'ils sont à l'état normal. D'un autre côté, il est visible que cette eau n'a pas été introduite par une infiltration lente ou par une décomposition ; mais bien par les roches trappéennes ; par conséquent, il faut nécessairement admettre que ces roches étaient hydratées au moment de leur éruption.

Il est bien certain cependant que les roches trappéennes font quelquefois subir aux roches siliceuses des métamorphoses qui accusent l'intervention d'une chaleur assez forte. Toutefois, les minéraux qui se sont développés au contact sont le plus souvent des carbonates, des hydrosilicates et les minéraux des gîtes métallifères. Les zéolithes et la terre verte y sont surtout très-fréquentes. Enfin, les roches siliceuses métamorphiques sont elles-mêmes hydratées. Tout concourt donc à démontrer que dans le métamorphisme exercé par les roches trappéennes le premier rôle n'appartient pas à l'action ignée, mais bien à l'action aqueuse.

Il est d'ailleurs facile de s'en rendre compte ; car les roches trappéennes étant hydratées et faisant quelquefois éruption à une température élevée, l'eau qu'elles contenaient devait nécessairement se répandre dans la roche encaissante et devenir le principal agent de métamorphisme.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

OBSERVATIONS

SUR LE MÉTAMORPHISME ET RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR QUELQUES-UNS DES AGENTS QUI ONT PU LE PRODUIRE.

Par M. DAUBRÉE, ingénieur en chef des mines.

L'un des problèmes qui ont le plus préoccupé les géologues est la formation première des roches cristallisées, surtout de celles qui, participant à la fois de la nature des terrains stratifiés et de la nature des roches massives, portent l'empreinte d'une double origine. *Observations préliminaires.*

Ces terrains présentent d'autant plus d'intérêt que, dans beaucoup de régions du globe, ils recèlent des minéraux extrêmement variés, et que leur formation se lie d'une manière intime à l'origine des dépôts où l'on exploite les métaux et les pierres gemmes.

Les modifications plus ou moins profondes que beaucoup de roches ont subies postérieurement à leur dépôt ont été produites sous l'influence de la chaleur; on les a même quelquefois attribuées exclusivement à cet agent. *La chaleur seule ne peut expliquer certaines transformations.*

Cependant un simple flux de chaleur, quelles qu'aient été son intensité et sa durée, n'a pu produire, sans auxiliaire, la plupart des phénomènes que nous observons dans les terrains métamorphiques.

Ainsi, par l'influence de la chaleur seule, il est impossible d'expliquer l'extrême irrégularité avec laquelle se sont propagées les modifications à partir des centres d'action. *Irrégularité de propagation à partir des centres d'éruption.*

Très-souvent, en effet, les transformations sont restreintes à une zone très-étroite, qui n'atteint pas quelques décimètres. Il serait facile d'en signaler de nombreux exemples au contact des roches éruptives de toute espèce, depuis les laves actuelles, les basaltes et les trachytes jusqu'aux granites. Ce fait résulte de la faible conductibilité calorifique des matériaux pierreux. D'ailleurs la transmission de la chaleur a pu être souvent arrêtée, quand le terrain encaissant était imbibé d'eau, qui l'empêchait de s'échauffer au contact de la masse fondue.

Mais les roches éruptives ne se présentent pas toujours avec ce caractère inoffensif à l'égard des terrains où elles ont été intercalées. Les actions métamorphiques se sont parfois développées avec intensité suivant certaines zones, tandis que près de la même roche, dans la même contrée, des terrains en apparence dans des conditions identiques aux premiers sont restés inaltérés.

Épaisseurs considérables sur lesquelles se sont souvent étendues ces actions.

Dans certaines circonstances ces actions ont même pu s'étendre sur des distances considérables, à travers des épaisseurs de plusieurs milliers de mètres, sans qu'on puisse toujours pénétrer jusqu'aux roches qui ont causé des changements si considérables.

Quand tant d'exemples nous montrent la faible influence de l'action calorifique proprement dite des roches éruptives, comment comprendrait-on que cette même action eût agi ailleurs avec autant d'énergie que d'uniformité sur des massifs énormes?

Résultats dont la chaleur ne peut rendre compte.

Si, laissant de côté les relations d'ensemble, nous passons aux faits de détail, nous trouvons encore, dans le mode d'agencement des minéraux des roches métamorphiques, une foule d'associations ou de gisements qui empêchent d'admettre pour ces minéraux une origine par voie sèche.

Pour en citer un exemple, je rappellerai le fait si fréquent de la cristallisation de silicates alumineux comme la chiastolite et la staurotide, au milieu des phyllades fossilifères, et celle du grenat ou du pyroxène dans les calcaires également d'origine sédimentaire.

La chaleur, puis la cristallisation qui est la conséquence du refroidissement, peuvent opérer des départs ou liquations entre des substances qui étaient primitivement dissoutes l'une dans l'autre; c'est ainsi que le carbone se sépare de la fonte, en cristaux, à l'état de graphite. Mais l'expérience directe ne nous montre rien d'analogue au développement de cristaux isolés de grenat, de pyroxène, de feldspath, de disthène, dans une gangue calcaire, qui n'a pas même été ramollie, et qui, selon toutes les apparences, n'a été que très-faiblement chauffée. Des actions lentes et continuées pendant très-longtemps, comme la nature en emploie si souvent pour élaborer les produits minéraux, sont capables de bien des résultats que l'homme est impuissant à imiter; mais on n'est nullement en droit de chercher exclusivement dans la durée du temps, ainsi qu'on l'a fait, une explication que rien ne justifierait d'ailleurs.

Nécessité d'un véhicule autre que la chaleur.

Ainsi, lors même que les roches métamorphisées ne renfermeraient pas de corps simples étrangers à leur composition normale primitive, on ne peut comprendre la formation des minéraux qui y ont pris naissance, sans l'intervention d'un véhicule autre que la chaleur. A plus forte raison cette conclusion est-elle nécessaire quand, comme au Brésil, le changement d'état des roches a visiblement coïncidé avec l'introduction de corps particuliers qui se sont en partie fixés dans les roches transformées.

Théorie de l'intervention des vapeurs.

L'étude de beaucoup de gîtes métallifères et de diverses contrées où les roches sédimentaires se montrent évidemment transformées, m'a conduit à attribuer plu-

sieurs de ces phénomènes à des réactions de certaines vapeurs entre elles ou sur des roches préexistantes, et à reproduire ainsi plusieurs espèces minérales caractéristiques de ces dépôts (1).

Action de l'eau dans divers phénomènes.

Mais dans bien des cas, il est évident que cette explication n'est pas applicable. Si les vapeurs et les gaz ont pu introduire, déplacer ou précipiter divers composés dans les roches, l'eau liquide, non moins mobile, peut être soupçonnée d'avoir provoqué des changements dans les masses où elle a eu accès.

Dans son travail classique sur les *émanations métalliques et métallifères*, M. Élie de Beaumont a signalé depuis longtemps l'analogie des filons métallifères avec les produits d'incrustations de sources thermales. On sait comment les expériences de M. de Sénarmont sur la production artificielle des minéraux des filons ont confirmé la justesse de ces considérations théoriques.

Objection à l'action aqueuse.

Diverses observations géologiques conduisent à faire croire que l'eau a agi aussi dans le métamorphisme, et récemment M. le professeur Bischof, dans son important ouvrage de géologie chimique, et M. Volger ont présenté des arguments nombreux et fondés en faveur de cette conclusion.

(1) Mémoire sur le gisement, la constitution et l'origine des amas de minerai d'étain (*Annales des mines*, 3e série, t. XX, p. 65, 1841).

Recherches sur la production artificielle de quelques espèces minérales cristallines, particulièrement de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane et du quartz (*Annales des mines*, 4e série, t. XVI, p. 129).

Expériences sur la production artificielle de l'apatite, de la topaze et de quelques autres minéraux fluorifères (*Annales des mines*, 4e série, t. XIX, p. 669).

Recherches sur la production artificielle des minéraux de la famille des aluminates et des silicates par la réaction des vapeurs sur les roches (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIX, p. 135).

Cependant une grave objection restait en présence de tous les raisonnements. Les silicates anhydres dont la présence dans les roches transformées auxquelles je fais allusion, constitue un caractère essentiel, semblaient nécessiter l'intervention de la voie sèche. Ces silicates, en effet, forment la base des roches éruptives : certains d'entre eux sont accidentellement imités dans les scories et les autres produits fondus ou sublimés des ateliers métallurgiques. Enfin personne n'ignore les résultats obtenus depuis longtemps par MM. Berthier et Mitscherlich, et plus tard par M. Ebelmen, sur la formation des silicates, à de hautes températures, par voie de fusion. Ainsi, tandis que la voie sèche formait par des procédés variés des silicates anhydres cristallisés, dont quelques-uns sont identiques avec ceux des roches métamorphiques, la voie humide était jusqu'à présent restée impuissante dans la production de semblables imitations.

Des expériences synthétiques dirigées d'après l'induction géologique pouvaient seules trancher la question. Tel est le but des expériences où j'ai tenté de mettre en jeu les affinités capables de produire pareilles combinaisons.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES ET SYNTHÉTIQUES.

Observations faites dans les travaux de captage de Plombières.

Avant d'exposer les résultats de mes expériences, je crois devoir faire connaître des observations qui leur servent en quelque sorte d'introduction : ce sont des imitations de minéraux que j'ai reconnues lors de l'exécution des travaux de recherche et de captage des sources thermales de Plombières.

Les sources de Plombières renferment, entre autres sels, de petites quantités de silicates de potasse et de soude et de sulfates des mêmes bases ; elles jaillissent du granite à une température d'environ 70 degrés centigrades.

Cuivre sulfuré cristallisé.

Un robinet en bronze, d'origine romaine, découvert par M. l'ingénieur Jutier, sous des maçonneries où il était enfoncé depuis bien des siècles, était encroûté de nombreux cristaux *de cuivre sulfuré* cristallisé, absolument identique par son aspect, par ses formes, par toutes ses propriétés avec le cuivre sulfuré de Cornouailles. Ces cristaux, vraisemblablement dus à la réduction des sulfates de l'eau minérale par des matières organiques en présence du cuivre, sont par conséquent dimorphes avec le sulfure de même composition que l'on obtient par voie de fusion dans les laboratoires ou dans les scories du traitement du cuivre.

Hyalite dans les maçonneries romaines.

Nous avons dû entailler de puissants massifs de maçonnerie romaine, construits avec un soin admirable, qui enveloppent les canaux par lesquels l'eau thermale était conduite du point d'émergence à la piscine dite du Bain-Romain. Dans certaines cavités du béton qui avait été imbibé, j'ai rencontré de l'*hyalite* mamelonnée, d'une transparence parfaite et impossible à distinguer de l'hyalite des basaltes.

Apophyllite cristallisée dans les mêmes constructions.

Les cavités où se trouvent l'hyalite contiennent souvent en outre des mamelons et des stalactites, dont la surface est hérissée de cristaux d'un blanc parfait : quelques-uns de ces enduits cristallins s'étendent jusque sur les briques voisines.

Ces cristaux sont terminés par des pointements en forme de pyramide aiguë à base quarrée; ils rayent le spath fluor. Dans un tube fermé ils dégagent de l'eau; ils sont facilement fusibles. L'acide chlorhydrique les attaque avec formation de gelée. L'analyse démontre qu'ils sont formés d'un silicate hydraté de potasse et de chaux, dans les proportions qui constituent l'*apophyllite*, minéral dont ils ont en outre la forme cristalline.

Les sources de Plombières sortent d'un granite por-

phyroïde où l'on n'a jamais trouvé aucune zéolithe; mais elles contiennent de la potasse et de la chaux, bases des silicates qu'elles paraissent enlever au granite décomposé en le lessivant. La chaux du béton a pu aussi favoriser la formation de l'apophyllite.

Déjà M. Woehler (1) était parvenu à dissoudre ce minéral dans l'eau, et il l'avait fait cristalliser par refroidissement; mais il opérait à la température de 180 à 190 degrés, et sous une pression de 10 à 12 atmosphères. On pouvait donc croire ces conditions nécessaires à la production de cette espèce minérale.

Conséquences de ces observations.

En résumé, des minéraux que la nature nous présente dans les filons et au milieu des roches éruptives peuvent prendre naissance à une température qui ne dépasse pas 70 degrés.

Si donc des silicates hydratés se produisent dans l'eau à des températures très-inférieures à leur degré de dissolution, je devais espérer obtenir des silicates anhydres, en élevant convenablement la température.

Procédé d'expérimentation.

La difficulté principale contre laquelle, je dois l'avouer, j'ai lutté pendant bien longtemps, consistait à trouver des fermetures qui résistassent assez longtemps à l'énorme tension qu'acquiert la vapeur d'eau, quand la température s'élève jusqu'au point où je voulais arriver, c'est-à-dire vers le rouge sombre. Il serait hors de propos d'expliquer ici quels procédés j'ai tentés pour répartir la pression sur plusieurs tubes intérieurs les uns aux autres ou pour employer des fermetures autoclaves. Je me borne à indiquer succinctement le procédé qui m'a enfin réussi.

L'eau, avec les substances qui doivent réagir, est

---

(1) *Jahresbericht*, 1847 et 1848, p. 1262.

placée dans un tube en verre de bonne qualité, que l'on scelle ensuite, après en avoir raréfié l'air autant que possible. On introduit ce tube en verre dans un tube en fer à parois très-épaisses (1), qui est clos à la forge à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité est fermée au moyen d'un long bouchon à vis, muni d'une tête quarrée qu'on peut serrer fortement ou tourner avec une clef (2). Il importe que la vis soit exécutée avec beaucoup de précision. Entre la tête de la vis et le rebord du tube est placée une rondelle en cuivre bien pur; elle doit être assez étroite pour pouvoir être écrasée, lors de la fermeture, par la pression du rebord et s'incruster dans des rainures pratiquées à cet effet.

Pour contre-balancer la tension que la vapeur développe dans l'intérieur du tube de verre et qui le ferait éclater, je verse de l'eau extérieurement à ce tube, entre ses parois et celles du tube de fer qui lui sert d'enveloppe. De cette manière, l'effort principal est reporté sur ce dernier tube qui présente beaucoup plus de résistance.

Ces appareils, comme ceux dont M. de Sénarmont a fait usage, étaient couchés sur le dôme d'un four à cornues d'usine à gaz, en contact avec une maçonnerie qui est au rouge sombre, et enfouis sous une couche épaisse de poussière de charbon. Un thermomètre à mercure y atteint rapidement sa limite; des fragments anguleux de zinc s'y ramollissent; la température à laquelle les tubes restent exposés, pendant plusieurs se-

(1) Pour un diamètre intérieur de 20 millimètres, on a adopté une épaisseur de parois de 8 millimètres.

(2) La fermeture en tuyau de baïonnette employée par M. de Sénarmont est sans doute préférable; mais je n'ai eu connaissance de cette disposition qu'après avoir fait exécuter tous mes tubes à la manufacture d'armes de Mutzig.

maines au moins, est donc d'environ 400 degrés. On les retire graduellement afin de les refroidir avec beaucoup de lenteur.

Quelque précaution que l'on prenne, toutes les fermetures ne résistent pas à la tension de la vapeur d'eau qui est énorme à ces températures élevées. C'est à peine si un appareil sur trois conserve son liquide pendant tout le temps de l'expérience. Aussi, en comptant même pour rien les dangers d'explosion, les difficultés matérielles dont je parle et le temps nécessaire à chaque expérience sont des obstacles qui m'ont empêché de multiplier les résultats comme je l'aurais désiré. Cependant, les faits que j'ai reconnus suffisent déjà pour montrer la fécondité de cette voie d'expérimentation.

Transformation complète du verre par l'eau suréchauffée.

Pour procéder du simple au composé, j'ai d'abord voulu reconnaître comment l'eau, dont l'action incontestable sur le verre a été étudiée par M. Pelouze, entre 0 et 100 degrés (1), se comporte à l'égard de ses enveloppes lorsqu'elle est suréchauffée.

Après une attaque d'une semaine seulement, rien dans l'aspect du résidu ne rappelle plus le verre. Il est entièrement transformé en une masse blanche, tout à fait opaque, poreuse et happant à la langue, qui a absolument l'aspect du kaolin. Tantôt le tube a conservé sa forme générale, tout en se modifiant; tantôt il s'est désagrégé et s'est réduit en une poussière blanche.

Dans l'un et l'autre cas, la modification est tout autre que la dévitrification étudiée par Réaumur, et, plus tard, par M. Dumas et par M. Pelouze (2). Des

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1856, t. XLIII, p. 117.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855, t. LX, p. 1321 et 1327.

combinaisons nouvelles se sont formées : d'une part, l'eau s'est fortement chargée de silicate alcalin ; de l'autre, la substance opaque, et au premier aspect d'apparence amorphe, est presque entièrement composée d'éléments cristallins.

Formation abondante de quartz cristallisé.

Ce que l'on distingue facilement, même sans le secours de la loupe, c'est une multitude de cristaux incolores, d'une limpidité parfaite, qui offrent la forme ordinaire bipyramidée du quartz, avec sa physionomie habituelle, et qui, en effet, ne sont autres que de la silice cristallisée. Certains cristaux ainsi formés atteignent deux millimètres au bout d'un mois. Ils sont souvent isolés dans la pâte opaque ; quelquefois aussi ils se sont implantés sur les parois du tube primitif, où ils forment de véritables géodes qu'il serait de toute impossibilité de distinguer, à la dimension près, de celles que les roches schisteuses cristallines présentent si fréquemment.

Wollastonite en cristaux aciculaires.

La substance blanche et opaque qui forme la plus grande partie du résidu de la transformation du verre n'est pas amorphe. Elle forme des prismes très-déliés ou aciculaires, que l'on ne peut mieux comparer qu'à la poussière de l'amphibole fibreuse passant à l'asbeste. Un lavage par décantation peut séparer assez nettement cette seconde substance des cristaux de quartz et de menus fragments incomplétement désagrégés.

Soumise au chalumeau la substance fond assez facilement en une perle incolore. Elle est complétement attaquable par l'acide chlorhydrique bouillant, et a présenté à l'analyse la composition suivante :

Silice...........	53
Chaux..........	46
Magnésie.........	traces.
	99

ce qui représente, sauf un très-faible excès de silice dû sans-doute à un mélange de quartz, la composition de la *wollastonite*.

Enfin les grains incomplétement désagrégés et peu abondants, séparés par le lavage, sont un silicate double de chaux et de soude hydraté, qui est attaquable aussi par l'acide chlorhydrique.

Autre silicate formé en petite quantité.

Quant au silicate alcalin qui reste en dissolution, dans l'expérience dont nous exposons les résultats, il renferme :

Composition du silicate alcalin en dissolution.

Silice.	37
Soude.	63
Potasse et chaux. . . .	traces.
	100

L'égalité entre les quantités d'oxygène de la silice et de l'alcali conduit à la formule SiO^3. 3NaO. On voit que ce composé est beaucoup plus basique que le silicate $(SiO^3)^2$.NaO, qui, d'après les recherches de M. Pelouze, se dissout à froid. La différence résulte peut-être de ce que le silicate alcalin d'abord, enlevé au verre, se décompose par une action de la chaleur comparable à celle que M. Fremy a constatée (1) ; le quartz cristallisé paraît, en effet, résulter d'une décomposition de ce genre, qui se fait peut-être à une température assez voisine de celle de la dissolution.

On ne peut voir sans étonnement qu'un changement aussi complet dans l'état physique et chimique du verre soit obtenu par une très-faible quantité d'eau, par un poids qui est, au plus, égal à la moitié de celui du verre transformé.

Faible quantité d'eau nécessaire pour produire ce métamorphisme.

A la température d'environ 400 degrés, l'action de l'eau sur le verre devient donc des plus énergiques.

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, 1856, t. XLIII, p. 1146.

Elle dissout les éléments qui avaient été combinés dans le verre à une température beaucoup plus élevée, il est vrai, mais en dehors de son intervention.

Dans les mêmes conditions, l'eau jouit, en outre, si l'on peut s'exprimer ainsi, d'une influence de cristallisation des plus remarquables sur le quartz et sur les silicates.

Action de la vapeur d'eau très-dense.

Les deux tubes n'étant pas complétement remplis d'eau, le tube en verre ne peut plonger dans le liquide que par sa partie inférieure, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Cependant, il est toujours attaqué avec uniformité dans toute son étendue. Ce résultat prouve que dans les conditions où nous avons opéré, la vapeur d'eau, par suite de la température et de la densité qu'elle acquiert, agit chimiquement comme l'eau liquide. On entre alors dans une période où la voie humide vient presque se confondre avec la voie sèche.

Ces cristaux ne préexistaient pas dans le verre.

Peut-être pourrait-on objecter, d'après une assertion récente, que certains cristaux pouvaient préexister dans le verre où ils resteraient latents, comme les cristaux d'étain que le moiré métallique met en évidence après le traitement par un acide. En effet, c'est aussi en se servant de l'action d'un acide que M. Leydolt (1) a voulu prouver que le verre possède, en général, une structure cristalline, et, en quelque sorte, porphyroïde: après avoir attaqué le verre par l'acide fluorhydrique, on observe sur la surface corrodée des formes cristallines.

Cause de l'illusion sur l'état cristallin des verres.

Je crois pouvoir conclure de mes observations que, dans la plupart des cas au moins, les aiguilles cristallines qui apparaissent après le traitement de l'acide fluorhydrique n'appartiennent pas à la substance vi-

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, t. XXXIV, p. 565.

treuse elle-même, mais au fluosilicate de potasse qui, si l'action est lente, se dépose à la surface du verre. Les cristaux ainsi formés protégent le verre contre une érosion ultérieure; aussi quand on lave la surface corrodée, elle paraît couverte de cristallisations; mais ces cristallisations y ont été décalquées comme les dessins que l'on réserve par des enduits de cire, dans la gravure sur verre.

Quand le verre, au lieu d'être traité par l'acide fluorhydrique, est attaqué par un séjour prolongé de plusieurs mois dans l'eau bouillante, comme j'ai eu occasion de le constater sur des tubes indicateurs de chaudières à vapeur, il se produit des érosions très-variées, mais sans indice de cristallisation. Cependant dans ce dernier mode d'opérer, l'action étant très-lente, les cristaux devraient apparaître bien plus nettement encore que dans le premier cas, si l'opinion dont je parle était fondée.

Un autre fait prouve clairement la validité de mon observation : Sur un verre incolore qui était doublé d'une feuille mince de verre rouge de cuivre, et dans lequel on avait corrodé les verres des deux couleurs, on pouvait reconnaître sur le bord des entailles, que les mêmes aiguilles passaient sans aucune altération du verre rouge sur le verre blanc. Elles résultaient donc simplement d'une empreinte extérieure, comme nous l'avons annoncé.

Transformation de l'obsidienne en feldspath.

Il n'était pas sans intérêt de reconnaître si les verres volcaniques, connus sous le nom d'*obsidiennes*, se comportent d'une manière comparable aux verres artificiels.

Or, des morceaux d'obsidiennes, chauffés dans l'eau comme nous l'avons dit, perdent aussi tout à fait leur aspect vitreux. La substance se change en une matière grisâtre, ayant encore les mêmes caractères chimiques, mais qu'à l'œil nu on reconnaît être cristalline comme

un trachyte à grains fins. Sa poussière, examinée au microscope, montre absolument les caractères du feldspath cristallisé, et ressemble surtout au rhyacolite ou feldspath vitreux.

On sait que l'obsidienne ne paraît différer chimiquement du feldspath que par un léger excès dans la proportion du silice. L'excès de silice qui peut s'y trouver est enlevé par le silicate alcalin auquel la décomposition du verre donne naissance, ét, à la suite de ce départ, le feldspath se sépare en petits cristaux.

La tendance que le feldspath manifeste ainsi à se produire par la voie humide est à prendre en considération dans diverses circonstances géologiques.

Stabilité des feldspaths et d'autres silicates cristallisés dans les mêmes conditions.

Avec les fragments d'obsidienne sur lesquels j'ai opéré, se trouvaient des morceaux de feldspath vitreux détachés du trachyte du Drachenfels, et de l'oligoclase de Suède. Ces deux derniers minéraux n'ont subi aucune altération appréciable. On ne peut toutefois affirmer que si l'eau n'avait pas immédiatement trouvé d'alcali à enlever à l'enveloppe vitreuse, elle n'en aurait pas pris au feldspath.

Nous voyons ici une sorte de confirmation de l'expérience précédente, sur la stabilité des silicates, qui ont originairement cristallisé dans des conditions peut-être assez voisines de celles où ils se trouvaient de nouveau placés.

Il en est à peu près de même des feuilles très-minces de mica potassique de Sibérie ; elles ont à peine perdu de leur transparence.

Des cristaux de pyroxène n'ont pas non plus changé d'aspect, si ce n'est que comme les morceaux de feldspath et d'obsidienne, ils ont été si complétement enveloppés de cristaux de quartz, qu'il faut les briser pour en reconnaître la nature.

Pour examiner comment se comportent, à l'état surchauffé, les dissolutions naturelles de silicate alcalin, que l'on trouve dans presque toutes les eaux, autant du moins que la présence du verre le permettait, je me suis servi de l'eau provenant des sources thermales de Plombières, qui est comparativement riche en silicate de potasse. Cependant ne pouvant opérer que sur 20 à 30 centimètres cubes d'eau, je l'ai préalablement concentrée par une évaporation assez rapide pour ne pas décomposer son silicate, de manière à la réduire au vingtième de son volume primitif.

L'eau de Plombières surchauffée fournit du quartz.

Après une expérience qui avait été arrêtée au bout de deux jours seulement, les parois du tube étaient déjà recouvertes d'enduits de silice sous la forme de quartz cristallin et aussi de calcédoine. Comme le verre n'était encore altéré qu'à sa surface, ce dépôt devait provenir, au moins presque en totalité, de la décomposition du silicate alcalin contenu dans l'eau de Plombières.

Ainsi, sans l'application d'aucun réactif chimique, sous la seule influence de la chaleur, l'eau tenant en dissolution des silicates alcalins, telle que les sources de Plombières, dépose du quartz cristallisé ou cristallin.

Une nouvelle preuve de la facilité avec laquelle les minéraux du groupe des feldspath peuvent se produire en présence de l'eau est fournie dans l'expérience suivante, que j'ai faite dans le but d'expliquer des feldspathisations assez fréquentes, même dans les roches fossilifères.

Feldspathisation des argiles dans les mêmes conditions.

Du kaolin parfaitement purifié par le lavage de tout débris feldspathique ayant été traité dans un tube par l'eau de Plombières, cette masse terreuse s'est transformée en une substance solide, confusément cristallisée en petits prismes, et qui raye le verre. Après avoir purifié cette substance par un lavage à l'eau bouillante, on voit

qu'elle est devenue fusible en émail blanc; l'acide chlorhydrique ne l'attaque plus. C'est un silicate double d'alumine et d'alcali qui a tous les caractères du feldspath; il est mélangé d'un peu de quartz cristallisé.

La facilité avec laquelle le silicate d'alumine absorbe la chaux à froid dans un mortier hydraulique est comparable à la réaction dont nous venons de rendre compte.

Formation du pyroxène diopside.

Au milieu de la substance blanchâtre provenant de la transformation d'un tube de verre qui avait reçu de l'eau de Plombières concentrée, j'ai obtenu d'innombrables cristaux très-petits, mais de forme parfaitement nette, doués de beaucoup d'éclat, bien transparents et de diverses nuances de vert; beaucoup d'entre eux ont la teinte vert olive, qui est habituelle au péridot. Leur forme est celle d'un prisme oblique symétrique, dont les bases sont remplacées par deux biseaux; deux des arêtes latérales opposées sont ordinairement tronquées, comme dans le pyroxène que Haüy a nommé *homonome;* ce sont d'ailleurs les mêmes angles. Ces cristaux rayent sensiblement le verre.

Traités par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant, ils restent inaltérables, à part la perte d'une trace de fer. Ils fondent au chalumeau en un émail noir.

Leur composition a été trouvée :

Silice.	51
Chaux.	26
Protoxyde de fer. . . .	22
Magnésie.	traces.
	98

C'est donc un *pyroxène* de chaux et de fer qui, par sa transparence, appartient à la variété *diopside.*

Ces cristaux sont, les uns isolés, les autres groupés de manière à former de petits globules hérissés de pointements, et plus rarement des incrustations minces. Les uns et les autres rappellent immédiatement par l'ensemble de leur aspect les cristaux de diopside des gisements les plus connus. Hémitropie de quelques-uns.

Les végétaux fossiles ayant subi des modifications sous l'influence des mêmes agents que les matières pierreuses, il convenait de voir ce que devient du bois dans l'eau suréchauffée. Réduction de bois en anthracite.

Des fragments de bois de sapin se sont transformés en une masse noire, douée d'un vif éclat, d'une compacité parfaite, qui, en un mot, a l'aspect d'une anthracite pure; elle est assez dure pour qu'une pointe d'acier la raye difficilement.

Cette sorte d'anthracite, bien qu'infusible, est entièrement granulée sous forme de globules réguliers de diverses dimensions, d'où il résulte clairement que la substance a été *fondue* en se transformant; elle ne donne par calcination que des traces de matières volatiles; la matière ligneuse est donc arrivée à son dernier degré de décomposition. Ce carbone compacte ne se consume qu'avec une excessive lenteur, même sous le dard oxydant du chalumeau. Il diffère des charbons formés à haute température, en ce qu'il ne conduit pas l'électricité, non plus que le diamant.

Les filons d'argent de Kongsberg en Norwége, qui sont encaissés dans le gneiss, renferment de l'anthracite qui présente la plus grande ressemblance avec l'anthracite artificielle dont il vient d'être question. Elle s'est moulée au milieu de la chaux carbonatée et de l'argent natif sous des formes qui annoncent qu'elle a aussi passé par un état de mollesse.

Si l'on avait arrêté l'opération à une température moins

élevée, on aurait, selon toute probabilité, obtenu un produit de décomposition intermédiaire entre le bois et l'anthracite, c'est-à-dire se rapprochant des houilles. C'est d'ailleurs ce qui paraît déjà résulter d'expériences faites par M. Cagniard de Latour (1).

Gonflement du verre métamorphique.

Je terminerai en signalant deux particularités du verre modifié, que je ne saurais désigner autrement que par l'épithète de métamorphique.

Sans que le tube se soit déformé, son épaisseur a, en général, augmenté très-notablement, au moins du sixième environ de l'épaisseur primitive. Ce gonflement, conséquence de la cristallisation qui s'est opérée, se fait surtout sentir dans l'accroissement du diamètre extérieur du tube.

Sa schistosité.

En même temps, ce verre a pris une structure éminemment schisteuse. Les feuillets, dans lesquels il se clive facilement, sont si minces qu'on peut quelquefois en distinguer plus de dix dans un millimètre d'épaisseur. Quand le verre est incomplétement attaqué, le centre, quoique vitreux encore, montre aussi des zones très-fines, comme les agates onyx. Le tout rappelle la structure de certaines roches schisteuses et cristallines.

Observations générales.

D'après les résultats que nous venons d'exposer, l'eau suréchauffée vers 400 degrés devient capable de former, non-seulement le quartz, comme M. de Sénarmont l'avait déjà reconnu (2), mais encore de produire et de faire cristalliser des silicates anhydres, tels que le feldspath, le pyroxène diopside, la wollastonite. Des combinaisons semblables avaient déjà été produites, il est vrai, par la voie sèche, mais à des températures

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, tome XXXII, page 295.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, tome XXXII.

incomparablement plus élevées que celle où la présence de l'eau permet de les obtenir. Dans ce dernier cas, le point de cristallisation est de beaucoup au-dessous du degré de fusion. En résumé, vers le rouge naissant les affinités de la voie humide acquièrent, en ce qui concerne la production des silicates, le même caractère que celles de la voie sèche.

DÉDUCTIONS GÉOLOGIQUES.

La température croît si rapidement à mesure que l'on descend vers l'intérieur du globe, que l'eau qui s'infiltre dans certaines fissures de l'écorce terrestre, atteint nécessairement des régions où, sous la pression qu'elle supporte, elle doit s'échauffer beaucoup au delà de la température à laquelle elle entre en ébullition sous la simple pression atmosphérique. Les volcans nous le démontrent d'ailleurs par leurs énormes exhalaisons aqueuses. On ne peut donc douter que la chaleur et la pression n'agissent *simultanément*, et que, suivant une expression de M. Elie de Beaumont, elles ne soient les deux *coordonnées* de la condition de ces sortes *d'étuves* naturelles (1) qu'il est très-important d'étudier pour la géologie.

C'est ce qui a été réalisé dans les expériences dont je viens de rendre compte; aussi quand les produits obtenus sont identiques avec ceux de la nature, ils amènent à certaines inductions très-probables sur l'origine des minéraux et des roches qui ont été ainsi imités, comme je vais chercher à le faire voir par quelques observations.

Comme conséquence de la formation des combinaisons rencontrées dans les sources thermales de Plom- Zéolithes dans leurs gisements.

---

(1) Note sur les émanations volcaniques et métallifères (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2[e] série, tome IV, page 1276).

bières, je remarquerai d'abord combien on a souvent exagéré la température nécessaire pour produire certains minéraux, surtout depuis qu'il est démontré que la chaleur interne a une part capitale dans les principaux phénomènes mécaniques et chimiques qui ont accidenté l'écorce terrestre. Des produits caractéristiques des filons métallifères et des roches volcaniques peuvent, en effet, se former à une température qui n'excède pas 70 degrés.

Cette dernière conclusion à l'égard de l'apophyllite peut être étendue aux autres zéolithes avec lesquelles elle présente de si grandes analogies de composition et de gisement. Or, on sait que les minéraux de cette famille font partie constituante de certaines roches, notamment des basaltes et des phonolithes. Tantôt les zéolithes sont disséminées dans tout le tissu de la roche; tantôt elles se sont concentrées dans les boursouflures, avec d'autres résidus de la décomposition des silicates primitifs, tels que le quartz, la chaux carbonatée ou l'aragonite, le fer carbonaté, la dolomie et la terre verte. Dans l'un et l'autre cas, ces silicates hydratés peuvent avoir pris naissance par une sorte de réaction sur une pâte préexistante, de nature doléritique ou trachytique, comme il arrive dans l'intérieur des maçonneries de Plombières, sous l'influence des silicates solubles qui y pénètrent graduellement. Il est, en tout cas, très-possible que les zéolithes qui font partie essentielle des roches éruptives et qui se trouvent aussi dans les dépôts métallifères, se soient formés quand le refroidissement était déjà très-avancé.

Des faits géologiques peuvent confirmer cette idée. Ainsi, de nombreux fragments de calcaire tertiaire d'eau douce qui sont empâtés dans le tuf basaltique du Puy de la Piquette en Auvergne, se sont aussi im-

prégnés de zéolithes (1). La mésotype et la stilbite sont venus tapisser les cavités laissées par les larves des friganes, sans que la roche calcaire ait subi d'altération sensible. Si le cuivre et l'argent natif renfermés abondamment dans les roches amygdaloïdes du lac Supérieur se sont déposés dans ces roches, en contact l'un avec l'autre, sans former d'alliage, c'est que ces deux métaux se précipitaient à une température inférieure, et peut-être de beaucoup, à celle à laquelle ils sont susceptibles de fondre ou de s'allier.

Action de l'eau suréchauffée dans la cristallisation des roches éruptives.

L'eau n'intervient pas seulement dans la formation des silicates où elle reste en partie combinée, et où elle laisse ainsi une preuve manifeste de sa coopération. La série d'expériences dont nous venons de signaler les résultats apprend qu'à des températures plus élevées, loin d'être inactive, elle se comporte dans la cristallisation du quartz et des silicates anhydres, comme si les matières y étaient facilement solubles.

Le feldspath, le principal élément des laves des volcans, a été déjà rencontré cristallisé dans des fourneaux à cuivre du Mansfeld, où M. le professeur Haussmann l'a découvert dès 1810, ainsi que dans quelques autres ateliers métallurgiques. Ce fait a eu pour les considérations géologiques une portée incontestable; mais il est très-probable d'après la position des cristaux vers la partie supérieure des fourneaux, qu'ils sont un produit de réaction de vapeurs entre elles et sur les parois, en tout comparables à celles qui m'ont occupé dans d'autres circonstances. Je rappellerai aussi qu'en faisant réagir le chlorure de silicium sur une combinaison d'alumine et

(1) Dufrénoy. Sur la relation des terrains tertiaires et volcaniques de l'Auvergne, *Annales des mines*, 2e série, tome VII, page 345. — Bouillet et Lecoq. *Vues et coupes du Puy-de-Dôme*, page 23.

d'alcali, j'ai obtenu de petits cristaux ayant les caractères physiques et chimiques du feldspath (1). Mais les chimistes les plus habiles ne sont pas encore parvenus à produire directement ce silicate double à l'état cristallin, par une *fusion sèche*, quelles que soient les précautions observées dans le refroidissement (2).

Tandis que le feldspath n'a pu être produit dans des réactions de voie sèche que d'une manière tout accidentelle ou par des artifices particuliers, la même combinaison a une tendance très-marquée à se former dans l'eau suréchauffée à 400 degrés, quand ses éléments se trouvent en présence.

On a depuis longtemps soupçonné que l'eau intervient dans la cristallisation des laves elles-mêmes, où elle est abondamment incorporée, et dont, malgré la très-haute température, elle n'achève de se dégager qu'au moment de la solidification.

Quel que soit l'état moléculaire de l'eau dans les laves. l'influence qu'elle exerce sur la formation des silicates qui s'en séparent n'est plus difficile à comprendre d'après les résultats qui viennent d'être exposés. Elle me paraît y agir comme dans les tubes, où elle est aussi suréchauffée, lorsqu'elle transforme l'obsidienne en feldspath cristallisé ou qu'elle dépose le pyroxène en cristaux parfaits. C'est ainsi que dans les laves, comme dans nos expériences, elle opère le départ et la cristallisation des silicates à une température bien inférieure à leur point de fusion. C'est encore par cette influence aqueuse que ces mêmes silicates peuvent cristalliser dans une succession qui est souvent opposée à leur ordre relatif de fusibilité. On sait, par exemple, que l'amphigène, silicate d'alu-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIX, p. 135.

(2) Mitscherlich. *Poggendorff Annalen*, t. XXXIII, p. 340.

mine et de potasse qui est infusible, s'est développé dans les laves de l'Italie en cristaux souvent très-volumineux.

Cette inversion dans l'ordre des fusibilités est surtout remarquable dans le granite qui, par la présence du quartz et du mica, comme par le mode de cristallisation de ces substances, diffère d'ailleurs de tous les produits de la fusion sèche que nous connaissons. Aussi depuis que l'action de la chaleur dans la formation de cette roche a été démontrée, son mode de cristallisation a été l'objet de nombreux systèmes, notamment de la part de Breislack, Fuchs, MM. Schafhaütl, Delafosse, de Boucheporn, Fournet, Durocher. Depuis les observations importantes de M. Scheerer sur ce sujet, M. Élie de Beaumont a montré en outre qu'une quantité d'eau très-minime a pu contribuer, avec les chlorures, à suspendre la cristallisation de ces pâtes jusqu'à un refroidissement très-avancé. Les déductions des expériences qui précèdent sur l'action de l'eau, lors de la cristallisation des silicates, s'appliquent plus directement encore à la cristallisation du granite qu'à celle des laves. Application à la cristallisation du granite.

Un phénomène des plus fréquents dans les roches métamorphiques est le développement ultérieur du feldspath dans leur masse, sans qu'elles aient été ramollies. Pour faire voir comment ce fait, inexplicable par la voie sèche, se déduit simplement de nos expériences et pour préciser les circonstances où cette transformation a eu lieu, nous prendrons des exemples dans la chaîne des Vosges, qui, pour ce phénomène, représente un type fréquemment reproduit ailleurs. Développement du feldspath dans les roches métamorphiques.

Dans les régions septentrionale et méridionale de cette chaîne, le granite syénitique forme des proéminences qui coupent les terrains de transition. Les roches de ces derniers terrains ont souvent subi, à proximité du granite, des modifications si variées que leur nomen- Exemples nombreux de ce phénomène dans les Vosges.

clature précise devient un sujet d'embarras pour le géologue. Elles consistent généralement en pâtes pétro-siliceuses, grises, verdâtres ou rosées, facilement fusibles au chalumeau. Des cristaux de feldspath orthose et de feldspath du sixième système y sont fréquemment disséminés; ils sont parfois accompagnés de quartz, d'amphibole, d'épidote, de pyrite et de quelques autres minéraux. Dans ce dernier cas la roche ressemble, à s'y méprendre, à certains porphyres ou eurites porphyroïdes qui sont d'origine éruptive et qui se trouvent surtout vers la lisière des massifs granitiques. On reconnaît cependant par des passages graduels que, dans le cas dont il s'agit ici, ces eurites et ces roches porphyroïdes ne sont qu'une dégénérescence de roches stratifiées et fossilifères.

On pourrait douter de la certitude de cette dernière conclusion, si la modification dont nous parlons ne se reproduisait dans des localités nombreuses, et avec une identité surprenante dans toute la nombreuse série de variétés de roche qui ont été affectées. Nous citerons comme exemple : autour du massif du Champ-du-Feu, les environs de Schirmeck, Framont, Rothau, Grendelbruch, Saint-Nabor, Barr, Andlau, Senones; près du massif des Ballons : les vallées de Massevaux, de Saint-Amarin, la naissance de la vallée de la Moselle, la vallée de Giromagny, celles de la Haute-Saône comprises entre Plancher-Haut, Fresse, Ternuay et Champagny. Les roches modifiées de ces diverses localités ont été nommées par les observateurs qui les ont décrites (1)

---

(1) Élie de Beaumont. *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 187.

Thirria. *Statistique minéralogique de la Haute-Saône* (où quelques-unes des roches sont qualifiées de porphyres de transition).

pétrosilex, eurites, porphyres verts, porphyres bruns ou amphibolites ; car quelquefois elles se chargent de beaucoup d'amphibole. Enfin, pour compléter l'énumération des principales modifications des terrains anciens des Vosges, nous ajouterons que sur d'autres points les phyllades deviennent micacées et mâclifères.

Aux environs de Thann, les roches feldspathisées sont très-nettement stratifiées; elles renferment en outre de nombreux débris de végétaux qui, parfois même, forment des lits d'anthracite ; d'après M. Schimper, ces végétaux caractériseraient le terrain carbonifère inférieur plutôt que le terrain devonien. Or, la pâte de ces mêmes couches est en grande partie parsemée de cristaux de feldspath qui appartiennent ordinairement au sixième système. La forme de ces cristaux, leur développement, toutes les particularités de leur manière d'être démontrent surabondamment que la plupart d'entre eux ne préexistaient pas parmi les matériaux arénacés qui ont formé ces pâtes, mais qu'ils s'y sont développés plus tard, comme M. Delesse l'a très-bien fait voir (1); de là le nom de *grauwacke métamorphique* qui leur a été donné.

Transformations semblables dans la forêt Noire.

Dans la forêt Noire, on trouve dans plusieurs régions des faits tout semblables à ceux que nous venons de mentionner pour les Vosges. Dans la chaîne badoise, les couches du terrain carbonifère inférieur, quelquefois riches en plantes, comme aux environs de Schœnau et Lentzkirch, contiennent aussi des cristaux de feldspath oligoclase, de même que les couches de

(1) Recherches sur le grauwacke métamorphique (*Bulletin de la Société géologique de France*, tome X, page 562. — Kœchlin-Schlumberger : sur le même sujet; même Recueil, tome XI, page 89.

Thann ; on reconnaît d'ailleurs aussi que ces cristaux n'y ont pas été amenés à l'état détritique et qu'ils résultent d'une épigénie.

Explication théorique proposée.

Pour rendre compte des transitions insensibles de certaines roches stratifiées aux roches feldspathiques éruptives qui les ont traversées, M. Fournet les a ingénieusement comparées à ce qui arrive, lorsque le fondant introduit dans un creuset pour la matière duquel ce fondant a de l'affinité, dénature le creuset, tout en se dénaturant lui-même (1). Mais ces considérations d'*endomorphisme*, sans doute admissibles dans quelques cas, ne peuvent s'appliquer partout, notamment aux grauwackes feldspathiques de Thann dans les couches desquelles le phénomène s'étend si uniformément.

Manière dont ces transformations s'expliquent par l'expérience.

Tous ces cas de feldspathisation s'expliquent d'une manière très-simple d'après les expériences où le feldspath est produit par voie humide, et particulièrement celle où nous reproduisons le phénomène sur l'argile, en présence d'une dissolution de silicate alcalin, comme il en existe dans la plupart des sources thermales. De telles eaux pénétrant dans des couches argileuses, à l'état suréchauffé, comme la pression le permettait avant qu'elles fussent disloquées, ont pu faire naître des cristaux de feldspath, de quartz et d'autres silicates. Selon leur nature première, selon la température de l'eau dont elles s'imbibaient, les roches ont subi des transformations différentes.

Observons d'ailleurs que les argiles renferment souvent des quantités assez notables de potasse, de chaux, de magnésie et d'autres bases, pour que le feldspath et d'autres minéraux, aussi bien que les mâcles et la

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, tome IV, p. 242.

chiastolithe aient pu s'y développer, sous la réaction de l'eau, sans introduction d'éléments étrangers. A de hautes températures, il suffit même de si peu d'eau pour produire la cristallisation de ces silicates, ainsi que nous l'avons vu, que l'eau des argiles ou même celle qui est mécaniquement mélangée aux roches, et que l'on qualifie vulgairement d'*eau de carrière*, paraît déjà être en quantité suffisante pour pouvoir déterminer, à l'aide de la chaleur, des réactions assez énergiques.

Décomposition et régénération du feldspath sur des points voisins.

Il est une circonstance qui vient à l'appui de la supposition que des eaux renfermant des silicates de potasse ont souvent pu pénétrer dans les terrains qui avoisinent le granite. Près des terrains feldspathisés comme nous venons de le dire, le granite est souvent tout à fait décomposé, au point que l'on exploite cette roche comme sable pour les constructions, comme à Barembach, Andlau et dans beaucoup d'autres lieux des Vosges. L'eau qui avait dissous une partie des alcalis du feldspath était susceptible en s'introduisant dans les argiles d'y régénérer ce même minéral, et ces deux phénomènes probablement complémentaires, sont parfois visibles à quelques centaines de mètres l'un de l'autre.

L'eau, selon les conditions, produit ou décompose le feldspath.

Nous avons reconnu que le feldspath soumis à 400 degrés à l'action de l'eau alcaline ne subit aucune altération, et il n'y a pas à s'en étonner puisqu'il se trouve alors dans les conditions même où il prend naissance. Mais à des températures moins élevées, l'eau pure ou tenant certaines substances en dissolution peut attaquer le même composé de manière à le transformer en kaolin ou peut-être en zéolites. Ainsi quand les galets feldspathiques se réduisent par le frottement, dans le sein des eaux, en limon imperméable, il subit même à la température ordinaire une décomposition lente.

comme je l'ai constaté dans une autre série d'expériences (1).

L'examen direct des phénomènes naturels nous conduit à la même conclusion que, selon les circonstances, l'eau agit sur le feldspath d'une manière inverse : elle peut le produire ou décomposer. Des nappes entières de porphyre rouge quartzifère subordonnées au terrain du grès rouge, ont subi une décomposition profonde; les cristaux de feldspath et la pâte elle-même ont été kaolinisées à une température qui, selon toute probabilité, était inférieure à celle où ces mêmes cristaux avaient pris naissance.

Autres exemples de roches feldspathisées.

Il est beaucoup d'autres contrées où des minéraux de la famille des feldspaths ont pris naissance dans des roches, comme épigénies. Je me bornerai à signaler ici les schistes verts du Taunus, nommés schistes à *séricite*, dont les veinules renferment parfois de l'albite aussi nettement cristallisée que celle qui occupe un gisement semblable dans l'Oisans et que renferment toutes les collections de minéralogie. Comme l'albite de l'Oisans, elle est accompagnée de quartz, d'épidote, et, pour surcroît de ressemblance, d'axinite (2).

Développement du feldspath dans les couches calcaires.

Au lieu de se développer dans les roches argileuses, le feldspath s'est souvent aussi formé dans des calcaires. Les Alpes présentent de nombreux exemples de ce fait qui ont déjà été observés par Saussure (3), et que l'infatigable explorateur de cette chaîne de montagnes, M. Studer, a décrits avec détails (4). Cette transforma-

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome XLV, p. 997.

(2) Cette dernière substance a été rencontrée récemment à Kœnigstein par M. Scharf.

(3) *Voyages dans les Alpes*, in-4, t. II, p. 390 et chap. 38.

(4) *Geologie der Schweiz*, t. I, p. 380.

tion des couches calcaires en roches feldspathiques a aussi donné lieu à d'intéressantes observations de M. Volger (1), et M. Bischof s'est appuyé sur ces faits pour montrer que le feldspath ne peut avoir été formé par voie sèche (2). Un exemple des plus remarquables se trouve dans le massif du mont Blanc, particulièrement au col du Bonhomme, où les calcaires magnésiens, déjà signalés par Brochant dans son beau travail sur les terrains de la Tarentaise, et désignés plus tard par Alexandre Brongniart sous le nom de *calciphyre feldspathique*, sont effectivement parsemés de cristaux d'albite. Le calcaire, en se modifiant ainsi, n'a pas d'ailleurs toujours échangé sa compacité primitive contre l'état cristallin.

Les développements du felsdpath, sous des formes très-variées dans les roches métamorphiques des Alpes et de beaucoup d'autres contrées, s'expliquent par les réactions que nous avons déjà exposées plus haut.

Gisements de pyroxène produits par voie humide.

Nos expériences sur les productions des silicates par voie humide serviront à expliquer bien d'autres particularités des roches métamorphiques.

Sans sortir des Alpes où le phénomène s'est développé d'une manière si grandiose, comment n'admettrait-on pas une origine analogue pour les roches dont a été séparé le pyroxène diopside en Piémont et dans le Tyrol, après avoir reconnu les conditions de son gisement et avoir vu les cristaux de même nature formés par voie humide? ou pour les roches d'Achmatowsk dans l'Oural, qui, comme celui des Alpes, est accompagné de grenat ou de chlorite cristallisée? On peut étendre la même conclusion aux pyroxènes disséminés dans divers calcaires mé-

(1) *Jahrbuch fur mineralogie*, 1854, p. 257. et *Mittheilungen des Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 1854.

(2) *Lehrbuch der Geologie*, t. II, p. 2344.

tamorphiques, tels que ceux des îles Hébrides ou des Pyrénées.

Il serait difficile de ne pas y comprendre également les blocs de calcaire de la Somma, dont les géodes sont régulièrement incrustées de cristaux de diopside, de mica et d'autres minéraux, qui tous ont évidemment pris naissance sous l'influence de l'eau, et d'une température élevée.

Silicates anhydres développés dans une roche à polypiers.

Au point de vue qui nous occupe, il n'est peut-être pas de localité connue qui soit plus digne d'intérêt que les environs de Rothau, dans les Vosges, notamment le lieu nommé Petit-Donon. Le granite syénitique a pénétré des couches dévoniennes, et jusqu'à quelques centaines de mètres du contact, elles sont entièrement modifiées. Sur certains points, la roche ne consiste plus qu'en un mélange de pyroxène lamellaire, d'épidote et de grenat compacte, avec des mouches de galène. Au milieu de la roche entièrement formée de silicates de cette nature, j'ai reconnu les empreintes parfaitement conservées de nombreux polypiers; ce sont surtout des *calomopora spongites* (Goldfuss) et des *flustres*. Il y a plus : les cavités même laissées par la disparition partielle du calcaire de ces polypiers sont hérissées de cristaux du même minéral qui forme la pâte : le plus abondant est l'amphibole noire en cristaux allongés, d'une netteté parfaite, pénétrant parfois dans les cristaux de quartz, comme on l'observe fréquemment dans les Alpes, au milieu de roches ayant perdu toutes traces de fossiles. Du grenat vert d'herbe fait partie des mêmes géodes, et rappelle tout à fait celui de Monzoni en Tyrol, ou de Drammen en Norwége. Enfin, parmi ces divers minéraux j'ai reconnu aussi l'axinite en cristaux volumineux, dont la présence n'avait encore été signalée dans aucune roche fossilifère.

Comme les polypiers que M. Elie de Beaumont a autrefois signalés au milieu de la dolomie de Gerolstein, les débris organiques si bien conservés à Rothau méritent d'être considérés comme des monuments classiques du métamorphisme. Ils nous apprennent, en effet, qu'une roche incontestablement d'origine sédimentaire est aujourd'hui formée de silicates anhydres et cristallisés, comme le pyroxène, l'amphibole, le grenat, l'épidote et l'axinite; et de plus, que cette roche s'est ainsi profondément transformée, sans se ramollir notablement, puisque les délicatesses de la surface des polypiers y sont bien conservées.

Ces circonstances, dont l'action de l'eau suréchauffée et se propageant suivant certaines directions rend si bien compte, se reproduisent fréquemment. Ainsi les amas de fer oligiste de Framont, situés à 10 kilomètres de là, dans une position géologique toute semblable, renferment des gangues de même nature que celles du Petit-Donon de Rothau; ces gîtes ont été vraisemblablement produits par des actions analogues à celles que nous venons de chercher à éclaircir. Il en est de même des amas de contact du Banat, des environs de Christiania, de Turjinsk dans l'Oural, de ceux de la Toscane, avec leurs boules d'amphibole radiée et d'yénite enclavés dans le calcaire, et, en général, de beaucoup d'amas métallifères qui ont pris naissance à proximité de roches éruptives, et qui ont pour gangues des minéraux silicatés.

Fragments de roche micacée ou amphibolique dans les roches granitiques.

Une transformation aussi complète que celle des roches de Rothau, subie par une roche stratifiée sans qu'il y ait eu ramollissement, explique aussi la conservation parfaite des contours anguleux de ces nombreux fragments que renferment très-souvent les roches granitiques de contrées les plus diverses, et dont on peut voir des

exemples nombreux dans les dalles des trottoirs de beaucoup de grandes villes. Dans les Vosges ces fragments sont surtout abondants vers la périphérie des massifs granitiques. Dans le granite porphyroïde, les fragments consistent en granite à grain fin et très-chargé de mica. Ceux que renferme la syénite tiennent de la nature de la masse enveloppante; ce sont des blocs de syénite à grains fins ou de diorite micacée, où l'amphibole est ordinairement en longues aiguilles, comme dans les géodes des polypiers de Rothau. Tantôt ces blocs ont quelques centimètres de côté, tantôt ils atteignent la dimension de plusieurs mètres cubes. Il n'est pas rare qu'ils soient assez rapprochés pour que leur ensemble constitue une brèche dans laquelle la syénite enveloppante forme de nombreuses ramifications (1).

Autres silicates produits par voie humide.

Bien des silicates autres que ceux que nous avons déjà imités, et peut-être la totalité de ceux que présente le règne minéral, peuvent être reproduits également par voie humide. Les analogies chimiques aussi bien que les associations de gisement le prouvent bien clairement. Mais je préfère ne pas devancer par des déductions géologiques plus étendues les résultats de l'expérience qui peut-être ne se feront pas attendre.

Action de la vapeur d'eau semblable à celle de l'eau liquide.

Remarquons encore qu'à cette température, vers laquelle nous venons de voir la voie humide imiter avec tant de facilité les silicates produits par voie sèche, tout en en créant d'autres qui lui sont propres, la vapeur d'eau agit, comme nous l'avons également reconnu, à la manière de l'eau liquide. Il n'y a donc pas lieu de chercher, dans les phénomènes géologiques produits dans de telles conditions de chaleur, une démarcation tranchée entre

(1) *Description géologique du Bas-Rhin*, p. 28 et 33.

l'action de l'eau liquide et celle de l'eau à l'état de vapeur.

Relation de la structure des terrains schisteux avec le métamorphisme.

La schistosité qu'acquièrent les tubes de verre est un effet évident du mode de fabrication qui a imprimé à la masse une structure par couches superposées. C'est une sorte d'hétérogénéité qui peut être décelée à l'aide de l'action subtile de la lumière polarisée, mais qui pour l'œil nu est primitivement cachée dans une apparente homogénéité. Elle n'apparaît que quand l'eau, par une action inégale, a dessiné les zones de nature différente, et mieux encore après que la substance, déjà modifiée en partie, a subi un retrait. Ces feuillets sont, en effet, beaucoup plus prononcés dans certains tubes que dans d'autres.

Il est très-possible qu'un effet du même genre se soit manifesté par métamorphisme sur des roches qui étaient peut-être d'abord homogènes, mais qui, par suite des forces mécaniques auxquelles ces masses ont été exposées dans les phénomènes de dislocation, ont dû présenter, comme le verre, des différences de densité et d'élasticité, en sens divers (1). Toujours est-il que la disposition feuilletée ou quelquefois simplement rubanée du verre métamorphique rappelle tout à fait la structure caractéristique des terrains schisteux cristallisés, qui jusqu'à présent n'a pas été imitée autrement par l'expérience.

Observations générales.

Je terminerai par quelques observations générales qui montrent, comme les exemples de détail que je viens de signaler, une ressemblance évidente entre les circonstances où se sont produits les phénomènes naturels et

---

(1) Parmi les divers savants qui ont étudié ce sujet, je rappellerai MM. Sedgwick, Élie de Beaumont, de la Bèche, Sharpe Hopkins, Strickland, Sorby, Tyndal et récemment M. Laugel.

celles où nous nous sommes placés dans nos recherches.

Influence de la pression dans les actions chimiques produites par les roches volcaniques. Exemple de la Somma.

L'influence de la pression sur les actions chimiques qui ont transformé les roches est, en effet, tout aussi claire dans la nature que dans l'expérience directe.

Les laves les plus chaudes et les plus chargées de vapeurs aqueuses, non plus que les basaltes et les trachytes, ne modifient pas les roches sur des épaisseurs notables, tant qu'elles agissent sous la simple pression atmosphérique. Mais les nombreux blocs de calcaire venus des foyers volcaniques dans les tufs de la Somma nous montrent, dans leurs géodes tapissées de minéraux si variés et si bien cristallisés, ce que peuvent produire les mêmes agents, lorsqu'ils sont encore renfermés dans la profondeur.

Même fait au Kaiserstuhl.

Un fait tout à fait comparable nous est offert dans le petit massif basaltique du Kaiserstuhl, dans le grand-duché de Bade.

Contrairement à ce que l'on a observé généralement, un lambeau de calcaire arraché par le basalte aux terrains qu'il a traversés, est modifié de la manière la plus profonde. Ce calcaire, devenu tout à fait lamellaire, renferme en effet des cristaux octaédriques de fer oxydulé titanifère, de la pyrite de fer, du mica magnésien semblable à celui de la Somma, de la perowskite et du pyrochlore cristallisé, qui rappellent le gisement de l'Ilmen. J'y ai, en outre, constaté la présence de cristaux de quartz, enchevêtrés au milieu des premiers minéraux, et qui ont été formés évidemment dans les mêmes conditions. Enfin, le calcaire traité par un acide très-faible laisse d'innombrables aiguilles que j'ai reconnues pour de l'apatite. Des échantillons de calcaire que j'ai rapportés de la Somma, avec du fer oxydulé et de l'apatite, ressemblent, à s'y méprendre, à certaines

variétés du calcaire du Kaiserstuhl. La présence du mica magnésien, abondant dans les deux localités, établit une analogie de plus entre les agents qui y ont développé cette série de minéraux remarquables. J'ajouterai, d'ailleurs, que ce n'est pas toujours près du contact même du basalte que l'accumulation des minéraux faite sous son influence s'est opérée de préférence : aussi ne peut-on admettre que le calcaire ait précipité ces minéraux par une action de voie sèche.

Gisement originaire de ces calcaires.

Le privilége qui a été accordé au calcaire du Kaiserstuhl, exceptionnellement parmi les roches en contact avec les basaltes, me paraît résulter clairement de son gisement. Ce calcaire est en effet situé au fond même d'un cirque de soulèvement des mieux caractérisés. Avant que la dernière dislocation subie par le massif basaltique fît affleurer ce calcaire au jour, il était soumis à une certaine profondeur, et par conséquent sous pression, aux eaux chaudes dont le basalte était lui-même imbibé et qui y ont aussi déposé des minéraux dans d'innombrables boursouflures.

De même que le calcaire du Kaiserstuhl, le calcaire si riche en minéraux variés de la Somma et celui du Latium ont été élaborés dans des points où se sont formés des cratères de soulèvement, quand la pression même sous laquelle se faisait la modification de ces roches a brisé leur couvercle, d'abord hermétiquement fermé. La cause des réactions chimiques a été annulée quand une issue lui a été ouverte.

Ainsi, au milieu même des foyers ignés les plus incontestables, dont les soulèvements ont amené au jour les produits antérieurs, on rencontre des phénomènes inexplicables par la chaleur seule; des phénomènes qui démontrent l'influence de la pression comme agent

de transformation et qu'il faut, selon toute vraisemblance, rapporter à l'eau suréchauffée.

Relation des phénomènes métamorphiques avec les dislocations.

Dans les terrains stratifiés de tous les âges, le phénomène du métamorphisme se lie toujours à des dislocations.

D'une part, en effet, les terrains stratifiés les plus anciens de la Russie et de Suède méridionale, comme ceux de l'Amérique du Nord, qui ont conservé leur horizontalité première, ne sont pas sensiblement transformés. D'autre part des terrains récents, mais fortement accidentés dans leur stratification, tels que les couches jurassiques et crétacées des Alpes, des montagnes Apuennes et de la Toscane, ont été au contraire complétement modifiés, lors même qu'on n'y rencontre que peu de masses éruptives. Les phyllades ne sont que le premier terme de transformations plus profondes; aussi ne se trouvent-ils jamais en dehors de zones autrefois plus ou moins disloquées.

Rapprochement avec les sources thermales.

Les sources thermales sont toujours en relation avec des accidents de structure du même genre, et d'immenses contrées sans dislocation, comme la Russie, en sont complétement dépourvues.

Il est donc difficile de ne pas apercevoir une liaison entre les deux espèces de phénomènes; il est difficile surtout de s'y refuser, quand l'expérience nous montre les eaux minéralisées comme un des agents les plus énergiques du métamorphisme que nous parvenons à reproduire artificiellement.

Les sources que nous voyons jaillir sous la simple pression atmosphérique ne dépassent pas la température de 100 degrés; mais on ne doit pas en conclure que dans la profondeur des roches, et plus près des masses où elles s'échauffent, l'eau ne puisse pas attein-

dre, aussi bien que dans nos tubes, une température beaucoup plus élevée. Dès lors, il est impossible que des eaux suréchauffées et douées d'une force expansive considérable ne se frayent pas une voie, vers la surface du sol, à travers toutes les roches voisines. Elles choisissent de préférence celles qui sont le plus perméables; mais elles peuvent cependant agir aussi, comme nous le voyons pour le verre, sur les masses tout à fait imperméables. En présence des résultats des expériences dont nous venons de parler, on ne peut douter que dans leur trajet plus ou moins prolongé à travers d'innombrables canaux capillaires, ces eaux ne soient un agent extrêmement puissant pour transformer des roches variées et y engendrer des silicates anhydres ou hydratés, aussi bien que d'autres minéraux que la voie humide produit dans les mêmes conditions de température.

Quant aux profondeurs auxquelles peuvent se produire les phénomènes de métamorphisme et une très-grande chaleur dans les sources thermales, je ferai observer que sur les trois quarts de la surface du globe, les sources ne peuvent apparaître sans surmonter la pression des mers qui ne doit pas être évaluée, en moyenne, à moins de deux cents atmosphères. Or, quand même les roches auraient été transformées à de grandes profondeurs, des brisements violents, comme ceux qui ont fait surgir la chaîne des Alpes, peuvent les avoir fait apparaître ultérieurement à la surface même du sol.

Liaison avec l'origine des gîtes métallifères.

Pour le remplissage de la plupart des filons métallifères, les eaux ont apporté dans de longues fissures où elles circulaient librement, les matériaux dont elles étaient chargées. Ce phénomène est donc à vrai dire un cas particulier du métamorphisme; et en effet, dans bien des contrées, telles que les régions stannifères du

Cornouailles, de la Saxe et de la Bohême, ou mieux encore, dans la grande zone des terrains du Brésil, qui renferment l'or, le platine et les pierres gemmes, on voit clairement la liaison intime des deux phénomènes.

MÉMOIRE

SUR LE MOUVEMENT RELATIF D'UN CORPS SOLIDE PAR RAPPORT A UN SYSTÈME INVARIABLE.

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Le mouvement relatif d'un corps solide par rapport à un système invariable ou milieu, lui-même mobile suivant une loi donnée dans l'espace absolu, peut, comme le mouvement absolu, être considéré comme se composant de deux autres : le mouvement translatoire du centre de gravité du corps, où toute la masse et les forces réelles et apparentes auraient été transportées, et le mouvement de rotation autour de ce point considéré comme fixe dans le milieu, dû à ces mêmes forces.

Dans un mémoire inséré dans les *Annales des Mines*, 5e série, t. III, nous avons démontré que *le centre de gravité d'un assemblage de points matériels se meut par rapport à un système invariable comme un point unique où serait concentrée toute la masse, en y supposant appliquées toutes les forces extérieures agissant sur cet assemblage.*

Le problème du mouvement relatif d'un point pouvant être considéré comme résolu, il nous reste à étudier le mouvement relatif de rotation d'un corps solide autour de son centre de gravité, ou plus généralement autour d'un point quelconque, supposé fixe dans le milieu.

M. Quet a traité complétement cette question dans un beau et savant mémoire d'analyse, inséré dans le

Journal de Mathématiques pures et appliquées (t. XVIII, 1853).

Dans ce travail, nous nous proposons d'arriver au même but par une voie toute géométrique, pour ainsi dire dépourvue de calculs, en nous appuyant sur deux théorèmes de cinématique que nous allons d'abord établir.

1er THÉORÈME. — *L'accélération angulaire apparente d'un solide* M, *dans son mouvement relatif par rapport au milieu mobile* (S) *se compose :* 1° *de l'accélération angulaire absolue,* 2° *de l'accélération angulaire d'entraînement prise en sens contraire,* 3° *d'une accélération angulaire égale et de sens contraire à la vitesse de rotation d'entraînement, de l'extrémité de la droite menée par un point de l'axe instantané d'entraînement, qui représente la rotation absolue ou relative du corps.*

Nous donnerons, pour abréger, le nom d'*accélération angulaire composée* à cette dernière accélération.

On peut considérer les mouvements absolus de (S) et du corps M comme se composant chacun d'une translation et d'une rotation dont l'axe passe constamment par un même point O de l'espace absolu.

Le mouvement relatif de M ne sera pas altéré en imprimant à ce corps, ainsi qu'à (S) une translation égale et contraire à celle de ce milieu ; ce qui revient à supposer que (S) est assujetti à tourner autour du point O. Par cette hypothèse, la rotation de M n'est pas changée ; sa translation seule est altérée, mais nous n'avons pas à nous en occuper.

Soient OA, OB (Pl. VIII, *fig.* 6), les axes instantanés de (S) et de M dans l'espace absolu, et supposons que les rotations correspondantes ω_e, ω_a aient lieu de la gauche vers la droite, pour l'observateur couché successivement suivant OA et OB en ayant les pieds en O. Je

porte sur les directions de ces droites les longueurs $OA = \omega_e$, $OB = \omega_a$. Au bout du temps dt, les longueurs OA et OB auront varié en grandeur et en direction, et seront représentées par OA_1 et OB_1, et les accélérations angulaires α_e, α_a, de (S) et de M, par $\frac{AA_1}{dt}$, $\frac{BB_1}{dt}$, c'est-à-dire par les vitesses des points A et B dans l'espace.

La rotation relative ω s'obtiendra en traçant la diagonale OC du parallélogramme construit sur $OB = \omega_a$ et sur la longueur $OA' = \omega_e = OA$ portée sur OA, de l'autre côté du point O, et qui représente la rotation ω_e changée de signe.

L'accélération angulaire apparente sera la vitesse relative du point C par rapport au milieu (S).

Soit OC_1 la diagonale du parallélogramme construit sur OB_1 et la longueur OA'_1 égale et de sens contraire à OA_1; $\frac{CC_1}{dt}$ est la vitesse absolue du point C et elle est évidemment la résultante de $\frac{BB_1}{dt}$, $\frac{A'A'_1}{dt}$, ou de α_a et $-\alpha_e$.

L'accélérante angulaire apparente se compose donc de α_a, $-\alpha_e$ et d'une troisième accélération angulaire égale et contraire à la vitesse d'entraînement du point C.

Soient BK et CJ les perpendiculaires abaissées des points B et C sur OA; δ_a, δ, les angles AOB, AOC; on a

$$CJ = BK = \omega \sin \delta = \omega_a \sin \delta_a,$$

et l'accélération angulaire composée a pour expressions

$$\omega_e \omega \sin \delta, \qquad \omega_e \omega_a \sin \delta_a.$$

2° *Théorème. — Si l'on considère la rotation d'entraînement et la rotation relative ou absolue du corps comme*

la résultante de plusieurs autres, l'accélération angulaire composée est la résultante de celles auxquelles on est conduit, en considérant successivement chacune des composantes de la rotation d'entraînement avec chaque composante de la rotation absolue ou relative du corps.

1° Supposons que la rotation relative ω se compose de deux autres ω', ω'', dont nous représenterons les projections sur un plan perpendiculaire à ω_e par Ω', Ω'', la lettre Ω représentant la même projection relative à ω.

Les accélérations angulaires composées $\omega_e \Omega$, $\omega_e \Omega'$, $\omega_e \Omega''$, correspondant à ω, ω', ω'', sont proportionnelles et perpendiculaires à Ω, Ω', Ω''. D'un autre côté Ω est la diagonale du parallélogramme construit sur Ω', Ω''; si donc on fait tourner ce parallélogramme dans son plan d'un angle droit, en sens inverse de la rotation ω_e, ses côtés et sa diagonale représenteront respectivement, en grandeur et en direction, les accélérations angulaires composées correspondant aux rotations ω, ω', ω'', et le théorème est démontré dans le cas particulier que nous considérons. On l'étendra sans peine au cas où ω se composerait d'un nombre quelconque de rotations.

On arriverait au même résultat en considérant la rotation absolue ω_a.

2° Supposons maintenant que la rotation d'entraînement se compose de deux autres ω'_e, ω''_e, dont les projections sur un plan perpendiculaire à l'axe instantané du corps, dans son mouvement absolu ou relatif, soient Ω'_e, Ω''_e, la projection analogue de ω_e étant Ω_e. Les accélérations angulaires composées $\omega\Omega_e$, $\omega\Omega'_e$, $\omega\Omega''_e$ correspondant à ω_e, ω'_e, ω''_e, étant proportionnelles et perpendiculaires aux droites Ω_e, Ω'_e, Ω''_e, dont la première est la résultante des deux autres, la démonstration s'achèvera comme tout à l'heure et s'étendra à un nombre

qnelconque de composantes de la vitesse angulaire d'entraînement.

On déduira sans difficultés, des deux cas particuliers que nous venons d'examiner, la généralisation du théorème énoncé.

Équations générales du mouvement relatif, par rapport à un système invariable, d'un corps solide assujetti à tourner autour d'un point faisant partie de ce système.

Soient :

Ox, Oy, Oz	les trois axes principaux d'inertie du corps passant par le point relativement fixe O.
n_a, p_a, q_a	les composantes parrallèles à ces axes de la rotation absolue ω_a.
n_e, p_e, q_e	et n, p, q les composantes analogues de la rotation d'entraînement ω_e et de la rotation relative ω.
A, B, C	les moments d'inertie principaux du corps correspondant aux axes Ox, Oy, Oz.
A_x, A_y, A_z	les composantes parallèles à ces axes de l'accélération angulaire d'entraînement A.
L, M, N	les moments par rapport aux mêmes axes des forces qui sollicitent le corps.
μ	la masse du corps.
u_x, u_y, u_z	les composantes suivant Ox, Oy, Oz de l'accélération d'entraînement du point O.
a, b, c	les coordonnées du centre de gravité.

Posons

$$\mu(au_y - bu_x) = N',$$
$$\mu(cu_x - au_z) = M',$$
$$\mu(bu_z - cu_y) = L',$$

On sait que l'équation du mouvement absolu du corps correspondant à l'axe Ox a pour expression

$$(a) \qquad A\frac{dn_a}{dt} + (C - B)p_a q_a = L - L',$$

et pour obtenir l'équation équivalente dans le mouvement relatif, il suffit de remplacer n_a, p_a, q_a, $\frac{dn_a}{dt}$, $\frac{dp_a}{dt}$, $\frac{dq_a}{dt}$, par leurs valeurs en fonction de n, p, q, $\frac{dn}{dt}$, $\frac{dp}{dt}$, $\frac{dq}{dt}$, et des éléments du mouvement d'entraînement.

On a d'abord :

$$p_a = p + p_e,$$
$$q_a = q + q_e,$$

et

$$(b) \qquad p_a q_a = pq + p_e q_e + p q_e + q p_e.$$

La projection de l'accélération angulaire absolue sur Ox est $\frac{dn_a}{dt}$ comme si cet axe était fixe ; cela tient à ce que Ox ne se déplace que perpendiculairement au plan passant par cette droite et par l'axe instantané de la rotation absolue. Par la même raison $\frac{dn}{dt}$ est la projection sur Ox de l'accélération angulaire apparente. Il nous reste maintenant à estimer les composantes, suivant la même droite, de l'accélération angulaire composée $\omega_e \omega \sin(\omega, \omega_e)$; nous nous appuierons pour cela sur le 2e théorème ci-dessus.

Les rotations d'entraînement p_e, q_e, donnent seules des accélérations angulaires composées, dirigées suivant Ox, et qui ont pour valeurs respectives $-p_e q$ et $q_e p$. On a par suite, d'après le 1er théorème :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn_a}{dt} - A_x + q_e p - q p_e.$$

d'où

$$(c) \qquad \frac{dn_a}{dt} = \frac{dn}{dt} + A_x + q p_e - p q_e.$$

L'équation (a) devient donc, en ayant égard aux valeurs (b) et (c) :

$$(1)\left\{\begin{aligned} &A\frac{dn}{dt}+(C-B)pq=L-L'-[AA_x+(C-B)p_eq_e+\\ &\qquad qp_e(A+C-B)-pq_e(A+B-C)],\\ &\qquad\text{et par analogie :}\\ &B\frac{dp}{dt}+(A-C)nq=M-M'-[BA_y+(A-C)n_eq_e+\\ &\qquad nq_e(A+B-C)-qn_e(B+C-A)],\\ &C\frac{dq}{dt}+(B-A)np=N-N'-[CA_z+(B-A)n_ep_e+\\ &\qquad pn_e(B+C-A)-np_e(A+C-B)]. \end{aligned}\right.$$

Telles sont les équations générales du mouvement relatif d'un corps solide, assujetti à tourner autour d'un point fixe, dans le milieu auquel on rapporte le mouvement. Ces équations sont spécialement applicables au mouvement relatif d'un solide autour de son centre de gravité ; dans ce cas les moments L′, M′, N′, sont nuls.

Si L″, M″, N″, représentent les moments par rapport aux axes Ox, Oy, Oz, des forces apparentes qu'il faut introduire pour ramener la considération du mouvement relatif à celle du mouvement absolu, on a :

$$(d)\left\{\begin{aligned} &L''=-L'-[AA_x+(C-B)p_eq_e+qp_e(A+C-B)-\\ &\qquad pq_e(A+B-C)],\\ &M''=-M'-[BA_y+(A-C)n_eq_e+nq_e(A+B-C)-\\ &\qquad qn_e(B+C-A)],\\ &N''=-N'-[CA_z+(B-A)n_ep_e+pn_e(B+C-A)-\\ &\qquad p_en(A+C-B)]. \end{aligned}\right.$$

Pour que les équations (1) soient immédiatement applicables, il faut les mettre sous une autre forme, attendu que A_x, A_y, A_z, n_e, p_e, q_e seront généralement données par les projections de A et ω_e sur trois axes

rectangulaires, OX, OY, OZ (*fig.* 7), fixes dans le milieu (S), que l'on peut supposer menés par le point O.

Soient φ, ψ, les angles formés par la trace OA du plan xOy sur le plan XOY, avec OX et Ox; θ l'angle compris sous Oz et OZ ou sous les plans xOy, XOY; OB, OC les perpendiculaires en O à OA dans ces deux plans; ν_e, π_e, χ_e, les composantes supposées données, de la rotation d'entraînement, suivant OX, OY, OZ; les projections de A sur les axes sont respectivement:

$$\frac{d\nu_e}{dt},\quad \frac{d\pi_e}{dt},\quad \frac{d\chi_e}{dt}.$$

Les rotations ν_e et π_e sont équivalentes aux deux suivantes, respectivement parallèles à OA et OC:

$$\nu_e \cos\varphi + \pi_e \sin\varphi \ldots\ldots \text{OA},$$
$$-\nu_e \sin\varphi + \pi_e \cos\varphi \ldots \text{OC}.$$

On remarquera que les quatre droites OB, OC, OZ, Oz, sont situées dans un même plan perpendiculaire à OA. La composante ci-dessus parallèle à OC peut être considérée comme la résultante de ces deux autres respectivement parallèles à Oz et OB.

$$-(-\nu_e \sin\varphi + \pi_e \cos\varphi)\sin\theta \ldots\ldots Oz,$$
$$(-\nu_e \sin\varphi + \pi_e \cos\varphi)\cos\theta \ldots\ldots \text{OB}.$$

La rotation χ_e donne les composantes

$$\chi_e \cos\theta \text{ suivant } Oz,$$
$$\chi_e \sin\theta \ldots\ldots\ldots \text{OB}.$$

Enfin, on reconnaît facilement que les composantes suivant OA et OB, sont équivalentes anx suivantes, estimées parallèlement à Ox, Oy:

$$(\nu_e \cos\varphi + \pi_e \sin\varphi)\cos\psi - [(-\nu_e \sin\varphi + \pi_e \cos\varphi)\cos\theta + \chi_e \sin\theta]\sin\psi,$$

$$(\nu_e \cos\varphi + \pi_e \sin\varphi)\sin\psi + [(-\nu_e \sin\varphi + \pi_e \cos\varphi)\cos\theta + \chi_e \sin\theta]\cos\psi.$$

En exprimant que les composantes suivant Ox, Oy, Oz, sont respectivement égales à n_e, p_e, q_e, il vient :

$$(2)\begin{cases} n_e = \nu_e(\cos\varphi\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi\cos\theta) + \pi_e(\sin\varphi\cos\psi - \\ \qquad \cos\varphi\sin\psi\cos\theta) - \chi_e\sin\theta\sin\psi, \\ p_e = \nu_e(\cos\varphi\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi\cos\theta) + \pi_e(\sin\varphi\sin\psi + \\ \qquad \cos\varphi\cos\psi\cos\theta) + \chi_e\sin\theta\cos\psi, \\ q_e = \nu_e\sin\varphi\sin\theta - \pi_e\cos\varphi\sin\theta + \chi_e\cos\theta. \end{cases}$$

On a de même :

$$(3)\begin{cases} A_x = \frac{d\nu_e}{dt}(\cos\varphi\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi\cos\theta) + \frac{d\pi_e}{dt}(\sin\varphi\cos\psi - \\ \qquad \cos\varphi\sin\psi\cos\theta) - \frac{d\chi_e}{dt}\sin\theta\sin\psi, \\ A_y = \frac{d\nu_e}{dt}(\cos\varphi\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi\cos\theta) + \frac{d\pi_e}{dt}(\sin\varphi\sin\psi + \\ \qquad \cos\varphi\cos\psi\cos\theta) + \frac{d\chi_e}{dt}\sin\theta\cos\psi, \\ A_z = \frac{d\nu_e}{dt}\sin\varphi\sin\theta - \frac{d\pi_e}{dt}\cos\varphi\sin\theta + \frac{d\chi_e}{dt}\cos\theta. \end{cases}$$

En portant ces valeurs dans les formules (1), on introduit les angles φ, ψ, θ, ce qui exige que l'on remplace dans les mêmes formules n, p, q par leurs valeurs en fonction de ces angles qui deviendront ainsi les inconnues de la question.

Remarquons que le déplacement des axes Ox, Oy, Oz par rapport à OX, OY, OZ, s'effectuera, en vertu des rotations $\frac{d\theta}{dt}, \frac{d\varphi}{dt}, -\frac{d\psi}{dt}$, autour de OA, OZ, Oz, de la gauche vers la droite, pour l'observateur couché successivement suivant ces trois directions, en ayant les pieds en O.

La rotation $\frac{d\varphi}{dt}$ peut être considérée comme la résultante des deux suivantes :

$$\frac{d\varphi}{dt}\sin\theta \qquad \text{parallèle à OB},$$

$$\frac{d\varphi}{dt}\cos\theta \qquad \text{parallèle à O}z.$$

et il vient, en appelant l, m les composantes de la rotation ω suivant OA et OB :

$$(4)\quad \begin{cases} l = \dfrac{d\theta}{dt}, \\ m = \dfrac{d\varphi}{dt}\sin\theta, \\ q = -\dfrac{d\psi}{dt} + \dfrac{d\varphi}{dt}\sin\theta. \end{cases}$$

et enfin :

$$(5)\quad \begin{cases} n = l\cos\psi - m\sin\psi = \dfrac{d\theta}{dt}\cos\psi - \dfrac{d\varphi}{dt}\sin\theta\sin\psi, \\ p = l\sin\psi + m\cos\psi = \dfrac{d\theta}{dt}\sin\psi + \dfrac{d\varphi}{dt}\sin\theta\cos\psi, \\ q = -\dfrac{d\psi}{dt} + \dfrac{d\varphi}{dt}\cos\theta. \end{cases}$$

Soient T, T_e, le travail des forces extérieures agissant sur le solide, et le travail des forces d'entraînement; le principe des forces vives donne :

$$(6)\qquad An^2 + Bp^2 + Cq^2 = 2(T - T_e) + \text{const.},$$

formule que l'on devra substituer à l'une des équations (1), lorsque l'on saura trouver les intégrales représentées par T et T_e.

S'il s'agit d'un solide entièrement libre, pour lequel n, p, q, représentent les composantes de la rotation apparente autour du centre de gravité, on a, d'après un autre principe, et en appelant v la vitesse de ce centre :

$$(7)\qquad An^2 + Bp^2 + Cq^2 + \mu v^2 = 2(T - T_e) + \text{const}.$$

T, T_e, désignant ici, les travaux des forces extérieures et d'entraînement dans le mouvement relatif général du solide.

Dans certains cas, il pourra être avantageux de remplacer l'une des équations (1) par celle qui résulte de la projection des moments des forces sur une droite fixe dans le milieu (S), faisant avec les axes Ox, Oy, Oz les angles variables α, β, γ, et avec OX, OY, OZ, les angles constants δ, η, ε.

Les moments des quantités de mouvement estimées suivant Ox, Oy, Oz étant An, Bp, Cq, il vient :

$$\frac{d}{dt}(An\cos\alpha + Bp\cos\beta + Cq\cos\gamma) = (L + L'')\cos\alpha + (M + M'')\cos\beta + (N + N'')\cos\gamma.$$

ou

$$(8)\qquad \frac{d}{dt}(An\cos\alpha + Bp\cos\beta + Cq\cos\gamma) =$$

$$= \begin{cases} (L - L' - A\mathcal{A}_x - (C - B)p_e q_e)\cos\alpha + (M - M' - B\mathcal{A}_y - \\ (A - C)n_e q_e)\cos\beta + (N - N' - C\mathcal{A}_z - (B - A)n_e p_e)\cos\gamma + \\ (B + C - A)n_e(p\cos\gamma - q\cos\beta) + (A + C - B)p_e(q\cos\alpha - \\ n\cos\gamma) + (A + B - C)q_e(n\cos\beta - p\cos\alpha.) \end{cases}$$

On substituera dans cette équation à $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ leurs valeurs, en fonction de $\cos\delta$, $\cos\eta$, $\cos\varepsilon$, tirées des formules (2) dans lesquelles on remplacera respectivement n_e, p_e, q_e, par les trois premiers cosinus, et ν_e, π_e, χ_e, par les trois derniers.

Application aux phénomènes terrestres.

Pour obtenir les formules applicables aux mouvements apparents des corps à la surface du globe, il suffit de supposer, dans ce qui précède, que (S) représente la terre ; on a d'abord :

$$\mathcal{A}_x = 0, \quad \mathcal{A}_y = 0, \quad \mathcal{A}_z = 0.$$

La rotation ω_e de la terre étant très-petite, on peut en négliger le carré, par suite les termes en $p_e q_e$, $n_e p_e$, $n_e q_e$.

Du pendule composé. — Supposons que le corps soit uniquement soumis à l'action de la pesanteur, et que l'axe principal d'inertie Oz passe par son centre de gravité; appelons f la distance de ce centre au point O.

Nous prendrons pour partie positive des axes OX, OY, OZ, la portion de la méridienne dirigée vers l'équateur, celle de la tangente au parallèle dirigée dans le sens de la rotation d'entraînement, c'est-à-dire de l'occident vers l'orient; enfin celle de la direction du fil à plomb située au-dessous du plan XOY.

Nous aurons d'abord, λ étant la latitude du lieu :

$$\nu_e = \omega_e \cos\lambda, \quad \pi_e = 0, \quad \chi_e = \omega_e \sin\lambda,$$

et les formules (2) se réduisent ici à

$$(2') \quad \begin{cases} n_e = \omega_e [(\cos\varphi\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi\cos\theta)\cos\lambda - \\ \qquad \sin\lambda\sin\theta\sin\psi] \\ p_e = \omega_e [(\cos\varphi\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi\cos\theta)\cos\lambda + \\ \qquad \sin\theta\cos\psi\sin\lambda] \\ q_e = \omega_e [\sin\psi\sin\theta\cos\lambda + \cos\theta\sin\lambda]. \end{cases}$$

Si l'on se rappelle que la valeur de l'accélération de la pesanteur observée en chaque point de la terre comprend l'accélération d'entraînement prise en sens contraire, le principe des forces vives donne :

$$(6') \quad An^2 + Bp^2 + Cq^2 = 2\mu f(\cos\theta - \cos\theta_o) + An_o^2 + Bp_o^2 + Cq_o^2,$$

θ_o, n_o, p_o, q_o, étant les valeurs initiales de θ, n, p, q.

Les quantités L—L', M—M', N—N', sont les moments par rapport aux axes Ox, Oy, Oz, de la résultante des attractions terrestres, et de la force d'inertie correspondant à l'accélération centripète d'entraînement du

point O, supposée transportée, ainsi que de toute la masse μ au centre de gravité G du corps Mais comme les dimensions des corps que nous considérons à la surface de la terre sont relativement très-petites, on peut, sans erreur, regarder comme égales les accélérations centripètes d'entraînement en O et G ; ce qui revient à supposer que $L - L'$, $M - M'$, $N - N'$, représentent les moments du poids du corps tel qu'on l'apprécie au lieu de l'observation.

La dernière formule (1) devient dès lors :

$$(1') \quad C\frac{dq}{dt} + (A - B)\,np = pn_{\prime}(B + C - A)\,np_{\prime}(A + C - B).$$

Enfin nous prendrons pour troisième équation celle des moments par rapport à la droite OZ,

$$(8') \quad \frac{d}{dt}\left\{\begin{matrix} An\cos\alpha + \\ Bp\cos\beta + \\ Cq\cos\gamma \end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix} (B + C - A)\,n_{\prime}(p\cos\gamma - q\cos\beta), \\ (A + C - B)\,p_{\prime}(q\cos\alpha - n\cos\gamma), \\ (A + B - C)\,q_{\prime}(n\cos\beta - p\cos\alpha), \end{matrix}\right.$$

et par des substitutions faciles, qui n'ont que l'inconvénient d'être longues, les équations (1'), (6'), (8') donneront les équations différentielles en φ, ψ, θ, t dont dépend le problème.

L'étude du mouvement apparent d'un corps solide pesant autour d'un point fixe sur la terre, ne conduit à quelques résultats simples, que lorsque ce solide est de révolution autour de l'axe Oz. Aussi nous bornerons-nous à poser les équations définitives du mouvement qui se rapportent à ce cas particulier, pour lequel les transformations analytiques intermédiaires présentent de notables simplifications.

L'hypothèse $A = B$ réduit l'équation (1') à

$$(\alpha) \qquad \frac{dq}{dt} = np_{\prime} - n_{\prime}p.$$

Or $np_e - n_e p$ n'est autre chose que la projection sur Oz de l'accélération angulaire composée ; et, pour l'obtenir, on peut substituer aux axes Ox, Oy, la considération des droites rectangulaires OA, OB, situés dans le même plan. En supposant $\psi = o$ dans les deux premières formules (2'), on obtient $\omega_e \cos\varphi \cos\lambda$, $\omega_e (-\sin\varphi \cos\theta \cos\lambda + \sin\theta \sin\lambda)$, pour les composantes de ω_e suivant OA et OB, par suite

$$np_e - pn_e = l\omega_e(-\sin\varphi\cos\theta\cos\lambda + \sin\theta\sin\lambda) -$$

$$-m\omega_e\cos\varphi\cos\lambda = \omega_e\left[\cos\lambda\left(\cos\varphi\sin\theta\frac{d\varphi}{dt} + \sin\varphi\cos\theta\frac{d\theta}{dt}\right) - \right.$$

$$\left. - \sin\lambda\sin\theta\frac{d\theta}{dt}\right]$$

$$\frac{dq}{dt} = \omega_e\cos\lambda\frac{d\sin\varphi\sin\theta}{dt} - \sin\lambda\frac{d\cos\theta}{dt}$$

et en intégrant :

$$(1'') \qquad q = q_0 - \omega_e\cos\lambda(\sin\varphi_0\sin\theta_0 - \sin\varphi\sin\theta) +$$
$$+ \omega_e\sin\lambda(\cos\theta_0 - \cos\theta).$$

La formule (6') devient, en remarquant que $A(n^2 + p^2) = A(l^2 + m^2) = A\left(\frac{d\theta^2}{dt^2} + \sin^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2}\right)$, supposant $m_0 = o$, $l_0 = o$ et négligeant dans la valeur de Cq^2 le terme en ω_e^2,

$$(6'') \qquad A\left(\frac{d\theta^2}{dt^2} + \sin^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2}\right) = 2\mu g f(\cos\theta - \cos\theta_0) +$$
$$2Cq_0\omega_e[\cos\lambda(\sin\varphi_0\sin\theta_0 - \sin\varphi\sin\theta) -$$
$$\sin\lambda(\cos\theta_0 - \cos\theta)].$$

Occupons-nous maintenant de la transformation de la formule (8') qui devient dans le cas actuel :

$$(\beta) \qquad \frac{d}{dt}\left[A(n\cos\alpha + p\cos\beta) + Cq\cos\gamma\right] = C[n_e(p\cos\gamma -$$
$$- q\cos\beta) + p_e(q\cos\alpha - n\cos\gamma)] +$$
$$(2A - C)q_e(n\cos\beta - p\cos\alpha).$$

La projection $n \cos \alpha + p \cos \beta$ sur OZ de la rotation ω se réduit évidemment à celle $m \sin \theta = \frac{d\varphi}{dt} \sin 2\theta$ de m, et comme $\gamma = \theta$, on a :

$$A(n \cos \alpha + p \cos \beta) + Cq \cos \gamma = A \sin^2 \theta \frac{d\varphi}{dt} + Cq \cos \theta.$$

Il est facile de reconnaître que le second membre de l'équation (β) est indépendant de la position des axes Ox et Oy dans le plan xOz. A cet effet, portons à partir du point O, dans un sens convenable, sur la perpendiculaire en ce point au plan déterminé par OZ et ω, une longueur Γ égale au double de l'aire du triangle ayant pour côtés l'unité et ω_e, dirigés suivant les directions de OZ et ω ; on a, en appelant Γ_x, Γ_y, Γ_z, les projections de Γ sur Ox, Oy, Oz :

$$p \cos \gamma - q \cos \beta = \Gamma_x$$
$$q \cos \alpha - n \cos \gamma = \Gamma_y$$
$$n \cos \beta - p \cos \alpha = \Gamma_z$$

et $n_e \Gamma_x + p_e \Gamma_y$ n'est autre chose que le produit des projections de ω_e et de Γ sur le plan xOy multiplié par le cosinus de leur angle. Nous pouvons donc substituer aux axes Ox, Oy les droites OA et OB ou supposer $\psi = o$, $\beta = 90° - \theta$, $\gamma = \theta$, $\alpha = 90°$, $q_e = \omega_e (\cos \theta \sin \lambda + \cos \lambda \sin \varphi \sin \theta)$, remplacer n et p par $l = \frac{d\theta}{dt}$ et $m = \frac{d\varphi}{dt} \sin \theta$; n_e et p_e par $\omega_e \cos \varphi \cos \lambda$, et $\omega_e(-\sin \varphi \cos \theta \cos \lambda + \sin \theta \sin \lambda)$; il vient ainsi, pour le second membre de (β) :

$$C\omega_e \left[\cos \varphi \cos \lambda \left(\sin \theta \cos \theta \frac{d\varphi}{dt} - q \sin \theta\right) - (-\sin \varphi \cos \theta \cos \lambda + \right.$$
$$\left. + \sin \theta \sin \lambda) \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \right] + (2A - C)\omega_e \sin \theta \frac{d\theta}{dt} (\cos \theta \sin \lambda +$$
$$+ \cos \lambda \sin \varphi \sin \theta),$$

et en réduisant et négligeant le quarré de ω_e,

$$(8'')\qquad \frac{d}{dt}\left[\sin^2\theta\frac{d}{dt}(\varphi-\omega\sin\lambda t)\right]=$$

$$=\left\{\begin{aligned}&-Cq_0\frac{d\cos\theta}{dt}\\&+\omega_e\cos\lambda\left\{\begin{aligned}&C\sin\varphi(\sin\theta\cos\theta-\cos^2\theta)\frac{d\theta}{dt}\\&-Cq_0\sin\theta\cos\varphi+C\sin\varphi_0\sin\theta_0\frac{d\cos\theta}{dt}\\&2A\sin^2\theta\sin\varphi\frac{d\theta}{dt}\end{aligned}\right.\\&-C\omega_e\sin\lambda\left\{\begin{aligned}&\sin^2\theta\frac{d\theta}{dt}\\&+\cos\theta_0\frac{d\cos\theta}{dt}-\frac{d\cos^2\theta}{dt}.\end{aligned}\right.\end{aligned}\right.$$

Si, comme dans l'expérience exécutée au Panthéon par M. Foucault, $\frac{C}{A}$ est assez petit pour que l'on puisse le négliger devant l'unité dans les termes en ω_e, la rotation initiale q_0 étant d'ailleurs nulle, les formules (6″) et (8″) se réduisent aux suivantes :

$$\frac{d\theta^2}{dt^2}+\sin^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2}=2(\cos\theta-\cos\theta_0)\frac{\mu g f}{A}$$

$$\frac{d}{dt}\left[\sin^2\theta\frac{d}{dt}(\varphi-\omega\sin\lambda t)\right]=2\omega_e\cos\lambda\sin\varphi\sin^2\theta\frac{d\theta}{dt}$$

qui sont celles qui se rapportent au mouvement oscillatoire d'un pendule simple ayant pour longueur $\frac{A}{\mu f}$, théorème dû à M. Quet.

Du Gyroscope. — Supposons maintenant que le point fixe du corps coïncide avec son centre de gravité, ou que $f=o$. Dans cette hypothèse, les formules (1″), (6″), (8″) ne supposent pas nécessairement que le plan XOY est horizontal ; il nous suffit d'admettre que ce plan étant choisi arbitrairement, le plan XOZ est parallèle

à l'axe de la terre, et que λ est l'angle que forme cet axe avec OX.

La formule (6″) devient, en rétablissant les termes $A(m_o^2+l_o^2)$:

$$(6''')\quad A\left(\frac{d\theta^2}{dt^2}+\sin^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2}\right)=2Cq_o\omega_e[\cos\lambda(\sin\varphi_o\sin\theta_o-$$
$$-\sin\varphi\sin\theta)-\sin\lambda(\cos\theta_o-\cos\theta)]+A(m_o^2+l_o^2).$$

Si nous supposons que la composante q_o de la rotation initiale soit très-considérable, nous pourrons sans erreur sensible réduire la formule (8′) à

$$A\frac{d}{dt}\left[\sin^2\theta\frac{d\varphi}{dt}\right]=-Cq_o\frac{d\cos\theta}{dt}.$$

En intégrant et remarquant que, en vertu des relations (5) on a $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)_o=\frac{m_o}{\sin\theta_o}$, il vient

$$(8''')\qquad A\sin^2\theta\frac{d\varphi}{dt}=Cq_o(\cos\theta_o-\cos\theta)+Am_o\sin\theta_o.$$

Si nous prenons OX parallèle à l'axe de la terre, on a $\lambda=o$, et (6‴) devient :

$$(6^{\text{IV}})\ \frac{d\theta^2}{dt^2}+\sin^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2}=-2q_o\omega_e\frac{C}{A}(\cos\theta_o-\cos\theta)+m_o^2+l_o^2,$$

et en éliminant φ entre ces deux dernières équations :

$$(9)\qquad \frac{d\theta^2}{dt^2}=2q_o\frac{C}{A}(\cos\theta-\cos\theta_o)\omega_e-$$
$$\frac{\left[\frac{C}{A}q_o(\cos\theta-\cos\theta_o)+m_o\sin\theta_o\right]^2}{\sin^2\theta}+m_o^2+l_o^2.$$

A l'inspection des trois dernières équations, on reconnaît facilement que la loi du mouvement est la même que pour un solide pesant de révolution dont un point de l'axe est fixe sur la terre supposée immobile ; et

l'axe du corps oscille dans le plan mobile passant par Oz entre deux limites que l'on déterminera facilement. Dans le cas particulier où $m_0 = o$, $l_0 = o$, l'une de ces limites est θ_0; l'autre est donnée par

$$2\omega_e - \frac{Cq_0}{A}\frac{(\cos\theta - \cos\theta_0)}{\sin^2\theta} = o.$$

Posant $\theta = \theta_0 + \varepsilon$, ε étant du même ordre de grandeur que ω_e, il vient, en négligeant les termes en ε^2:

$$2\omega_e + \frac{Cq_0}{A}\frac{\varepsilon}{\sin\theta_0} = o,$$

d'où pour l'écart maximum

$$\varepsilon = -2\omega_e\frac{A\sin\theta_0}{Cq_0}.$$

Cette valeur étant de signe contraire à q_0 conviendra toujours; car pour que $\frac{d\theta}{dt}$ soit réel, il faut que θ décroisse ou croisse à partir de θ_0 selon que q_0 est positif ou négatif.

En général l'axe du corps ne deviendra jamais perpendiculaire à YOX à moins que

$$Cq_0\cos\theta_0 + Am_0\sin\theta_0 = Cq_0;$$

dans ce cas, (8''') donne

$$A\sin\theta\frac{d\varphi}{dt} = -Cq\tang\frac{\theta}{2}$$

et (9)

$$\frac{d\theta^2}{dt^2} = 2q_0\omega_e\frac{C}{A}(\cos\theta - \cos\theta_0) -$$
$$-\frac{C^2}{A^2}q_0^2\left(\tang^2\frac{\theta}{2} - \tang^2\frac{\theta_0}{2}\right) + l^2,$$

et une discussion simple permet de déterminer les autres conditions à remplir pour que l'axe passe par OZ.

Admettons maintenant que l'axe du corps soit assujetti à rester dans un plan fixe XOY, ce qui suppose que l'on exerce en un point de cet axe une pression normale au plan d'une énergie suffisante.

Les formules (1″) et (6″) peuvent encore recevoir ici leur application en y supposant $\theta = 90°$ et $l_0 = o$; mais on ne pourra plus prendre l'équation (9) parce que le terme en q_0 par rapport auquel nous avons négligé ceux en ω_e, dans (8″), est nul, et il faudrait nous reporter à cette dernière équation; mais la formule (6″) suffit pour résoudre le problème. Cette formule donne :

$$\frac{d\varphi^2}{dt^2} = 2\frac{C}{A} q_0 \omega_e (\sin\varphi_0 - \sin\varphi)\cos\lambda + A m_0^2;$$

et comme φ est ici le complément de l'angle que forme l'axe du corps avec OX, il s'ensuit que si $m_0 = 0$, la première de ces droites oscillera de part et d'autre de la seconde comme un pendule simple de longueur égale à l'unité, soumis à l'action d'une accélération constante $\frac{C}{A} q_0 \cos\lambda$ parallèle à OX et dont m_0 serait la vitesse initiale.

Nous aurions pu, dans les questions précédentes pousser plus loin les approximations, comme l'a fait M. Quet, et étudier le mouvement des différentes pièces de gyroscope de M. Foucault ; mais notre but aurait été dépassé en entrant dans les développements pour lesquels nous renverrons au mémoire de ce savant.

ÉTUDE

DES

PRINCIPALES VARIÉTÉS DE HOUILLES CONSOMMÉES SUR LE MARCHÉ DE PARIS ET DU NORD DE LA FRANCE. ÉTUDE DE LA TOURBE.

Par M. DE MARSILLY, Ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Le but que je me propose est d'étudier la combustion dans les foyers des locomotives.

Cette étude est complexe ; le combustible, le foyer de la locomotive, la grille, les tubes, la boîte à feu, le tuyau d'échappement, la cheminée, les métaux employés, tels sont les nombreux éléments dont la forme, les dimensions, les rapports et la nature influent sur la manière dont s'opère la combustion et s'utilise la chaleur produite.

Parmi ces éléments, celui qui joue le premier rôle et qu'il importe le plus de bien connaître est le combustible ; suivant que l'on emploie le coke, la houille, la tourbe ou le bois, les produits de la combustion varient et les dimensions des divers éléments que nous venons d'enumérer doivent changer.

L'étude de la combustion doit donc être précédée de l'analyse des combustibles employés.

Pendant longtemps le coke a été, sauf dans des circonstances exceptionnelles, le seul combustible brûlé dans les foyers des locomotives ; mais aujourd'hui la houille a pris une large place dans la consommation ; nous avons même montré, M. Chobrzinski et moi, que son emploi était supérieur à celui du coke ; sur certains chemins de fer on marche avec les lignites, la tourbe et le bois.

Pour circonscrire mon sujet, je me bornerai à l'examen des combustibles qui arrivent sur le chemin de fer du Nord ; car c'est sur ce chemin de fer que seront faites mes études de la combustion dans les foyers des locomotives.

Ces combustibles comprennent :

1° Les houilles de Belgique, du nord de la France et du bassin de Newcastle (Angleterre);

2° Les briquettes;

3° Le coke;

4° La tourbe que l'on trouve dans le Pas-de-Calais, la Somme, l'Aisne et l'Oise ; on ne la brûle pas dans les foyers des locomotives, mais elle est tellement à la portée du chemin de fer du Nord, qu'il était intéressant de voir si, d'après sa composition, il pouvait y avoir avantage à l'employer dans certains cas.

Les importations des houilles belges et anglaises, et la production des houilles du nord de la France, ne s'élèvent pas à moins de 5 millions de tonnes, qui se répartissent pour l'année 1856 entre les divers bassins producteurs à peu près ainsi qu'il suit :

	tonnes.
Bassin de Mons et Bassin du Centre.	1.700.000
Bassin de Charleroi	900.000
Bassin de Valenciennes	1.800.000
Bassin du Pas-de-Calais	350.000
Bassin de Newcastle	400.000
Total	5.150.000

La consommation totale de la France est d'environ 9 millions de tonnes ; c'est donc plus de la moitié des houilles consommées en France que comprennent mes études.

Elles se divisent en quatre parties :

La première comprend l'analyse élémentaire de la

houille, c'est-à-dire la détermination des éléments, eau, hydrogène, carbone, oxygène, azote et cendres qui la composent.

La seconde, l'analyse immédiate de la houille, autrement dit la recherche des principes qui constituent immédiatement la houille; un savant illustre faisait naguère encore ressortir l'importance de ce genre de recherches (1).

La troisième partie comprendra l'étude des produits que donne la houille en se décomposant sous l'action de la chaleur.

La quatrième, l'analyse des cendres et la recherche des différentes substances autres que l'hydrogène, le carbone et l'oxygène que l'on rencontre dans la houille.

Le mémoire que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie a pour objet l'analyse élémentaire de la houille, des briquettes, du coke et de la tourbe ; il constitue la première partie des recherches auxquelles je me suis livré.

Les houilles que nous avons étudiées n'ont encore été l'objet d'aucun travail du même genre ; on a bien fait à l'École des mines de Liége l'incinération et la calcination d'une série d'échantillons représentant toutes les variétés de houille que produit la Belgique ; mais on n'a pas donné leur composition élémentaire. M. Regnault, dans ses belles recherches sur les combustibles minéraux (2), donne seulement l'analyse complète de deux espèces de houille du bassin de Mons.

Le travail de M. Regnault nous a servi de modèle ; nous avons suivi, à quelques exceptions près, les mêmes méthodes d'analyses.

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIV, n° 18, 4 mai 1857, page 817.

(2) *Annales des mines*, 3° série, t. XII, page 161.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPOSÉ DES MÉTHODES D'ANALYSES.

Les divers éléments qui entrent dans la composition de la houille sont :

Eau hygrométrique,
Hydrogène,
Carbone,
Oxygène,
Azote,
Cendres.

Nous avons déterminé ces divers éléments ; de plus, nous avons recherché le résidu que la houille laisse par la calcination en vase clos ; ce résidu est composé de cendres et de carbone ; quand il est agglutiné, il prend le nom de coke.

Enfin nous avons pris les densités d'un certain nombre d'échantillons de houille.

Eau hygrométrique.

« L'eau hygrométrique renfermée dans les houilles, » dit M. Regnault, est variable suivant leur nature. » Je me suis assuré que cette eau hygrométrique était » enlevée complétement dans le vide ou par une tem- » pérature un peu supérieure à 100°.

» Toutes les houilles que j'ai analysées, ajoute-t-il » plus loin, ont été préalablement exposées à une tem- » pérature de 120°. »

Les résultats des essais que j'ai faits ne concordent point avec cenx de M. Regnault.

J'ai fait de nombreux essais de dessiccation ; toujours la perte dans le vide sec a été moindre qu'à une température de 100 ou 120°.

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau n° 1.

En l'examinant on voit que les houilles perdent plus à 100° que dans le vide sec, et qu'elles perdent plus encore à 250° qu'à 100°.

Certains échantillons ont perdu moins à 250° qu'à 100°; cela tient sans doute à la présence de pyrites qui absorbent l'oxygène de l'air, sous l'influence d'une température élevée.

Si, à la température de 100° à 200°, la houille ne perdait que de l'eau, on ne comprendrait point qu'elle éprouvât une perte plus grande que dans le vide sec; il y avait donc lieu de penser qu'il se dégageait autre chose que de la vapeur d'eau et que la houille subissait une véritable décomposition.

C'est ce que j'ai constaté par de nombreuses expériences; toutes portent sur des morceaux de charbon en bloc récemment extraits de la mine; il est essentiel de n'opérer que sur des charbons frais et en gros morceaux qui n'ont point encore subi d'altération sensible par leur exposition à l'air.

1re EXPÉRIENCE. — *Charbon du Grand-Hornu* (bassin de Mons).

Ce charbon est gras, il brûle avec une longue flamme, produit beaucoup de gaz et donne un coke bien formé, mais poreux et léger. On ne rencontre point de grisou dans les veines que l'on exploite.

650 grammes de houille pulvérisée ont été mis dans une cornue en verre et soumis dans un bain d'huile à une température qu'on a graduellement élevée jusqu'a 330°.

Il s'est dégagé : 1° de l'eau mêlée d'huiles carburées; 2° 750 centimètres cubes de gaz, soit pour un kilogramme de houille 1^l,150.

Ce gaz ne brûlait point au contact d'une allumette en ignition ; il l'éteignait ; la potasse n'en absorbait qu'une très-faible quantité ; il était donc principalement composé d'azote.

2° EXPÉRIENCE. — *Levant du Flénu* (bassin de Mons).

Charbon flambant, donnant beaucoup de gaz et un coke léger et fritté ; pas de grisou dans les mines.

500 grammes portés graduellement à une température de 330° ont donné :

1° Eau mélangée d'huiles empyreumatiques ;

2° 837 centimètres cubes d'un gaz composé d'azote et d'un peu d'acide carbonique, soit pour un kilogramme de houille $1^{l},674$.

De 300° à 330°, il ne s'est pas dégagé de gaz.

3° EXPÉRIENCE. — *Midi du Flénu* (charbon maigre).

Charbon à longue flamme, donnant beaucoup de gaz ; coke léger et à peine foncé. Il n'y a pas de grisou dans les mines.

600 grammes ont été portés au bain d'huile.

A 110° il ne s'était pas encore dégagé de gaz ; le dégagement n'est devenu sensible qu'à 140° ; il s'est arrêté avant 300° et n'a pas repris ensuite, quoiqu'on ait atteint la température de 330°.

On a recueilli :

1° Eau mélangée d'huiles empyreumatiqes ;

2° 462 centimètres cubes de gaz, soit pour un kilogramme de houille $0^{l},770$.

Ce gaz ne s'enflammait point au contact d'un corps en ignition et l'éteignait.

4° EXPÉRIENCE. — *Midi du Flénu* (autre échantillon).

Charbon à longue flamme, donnant beaucoup de gaz et un coke assez bien formé quoique léger. Il n'y a pas de grisou dans les mines.

500 grammes ont donné :

1° Eau mêlée d'huile de goudron ;

2° 481 centimètres cubes de gaz, soit pour un kilogramme 0^{l},962.

Ce gaz éteint les corps en ignition ; agité avec la potasse, il diminue un peu de volume.

5° EXPÉRIENCE. — *Mariemont* (bassin du Centre).

Charbon gras à courte flamme sans fumée. Coke bien formé.

920 grammes ont donné :

1° Eau mêlée d'huile de goudron ;

2° 1^{l},360 de gaz, soit par kilogramme 1^{l},478.

De 10° à 100° il s'était dégagé 0^{l},220 d'un gaz qui ne s'enflammait pas au contact d'une allumette en ignition ; le gaz recueilli de 100° à 320° brûlait avec une flamme à peine visible.

6° EXPÉRIENCE. — *Bascoup* (bassin du Centre).

Charbon dur, brûlant sans fumée, donnant peu de gaz et un coke mal formé. Il n'y a pas de grisou dans les mines.

920 grammes ont été chauffés au bain d'huile.

	litres.
Entre 20° et 100°, il s'est dégagé	0,220
de 100° à 330°	0,885
Total	1,105
Soit par kilogramme	1,201

Ce gaz ne brûlait point au contact d'une allumette en ignition et l'éteignait ; avec la potasse il n'y avait point d'absorption sensible.

7° EXPÉRIENCE. — *Hagne Saint-Pierre* (bassin du Centre).

Houille demi-grasse, donnant un coke bien formé ; d'une qualité analogue à celle de Mariemont ; point de grisou dans les mines.

500 grammes ont été chauffés au bain d'huile :

Le dégagement du gaz a commencé avant 100°; la température a été portée jusqu'à 340° ; il s'est dégagé $0^l,795$ d'un gaz non inflammable au contact d'un corps en ignition et éteignant les corps enflammés.

La production du gaz par kilogramme est de $1^l,590$.

8° EXPÉRIENCE. — *Nord du bois de Boussu. Fosse alliance* (bassin de Mons).

Charbon gras à longue flamme, coke boursouflé. Il y a du grisou dans les mines.

500 grammes ont dégagé de 10° à 340°, $1^l,455$; soit par kilogramme $1^l,910$.

Ce gaz brûlait avec une longue flamme au contact d'un corps en ignition.

9° EXPÉRIENCE. — *Grand-Buisson* (bassin de Mons).

Charbon de même nature que le précédent. Mines à grisou.

600 grammes ont été chauffés au bain d'huile.

Jusqu'à 120° il s'est dégagé peu de gaz ; mais de 120 à 335° il s'est dégagé $1^l,570$ à 335°; le dégagement ne paraissait pas encore arrêté ; il semblait que la décomposition de la houille commençât ; c'est, par kilogramme $2^l,167$.

Le gaz brûlait avec une très-longue flamme ; celui recueilli vers la fin de l'expérience était plus éclairant et donnait une flamme plus longue et plus vive que celui qu'on a recueilli au commencement.

10° EXPÉRIENCE. — *Escouffiaux* (bassin de Mons).

Charbon dur, donnant du coke. Mines à grisou.

500 grammes ont été chauffés au bain d'huile.

Le dégagement du gaz a commencé à une température de 70°; j'ai recueilli :

	litre.
1° de 70° à 160°	0,236
2° de 160° à 180°	0,100
3° de 180° à 250°	0,480
4° de 250° à 310°	0,255
5° de 310° à 325°	0,250
6° de 325° à 330°	0,115
Total	1,430
Soit par kilogramme	2,860

Le gaz n° 1 ne s'est point enflammé.

Le gaz n° 2 a brûlé avec une flamme bleue très-légère.

Le gaz n° 3 a donné une flamme longue et éclairante.

Le gaz n° 4 a brûlé avec une flamme plus longue et plus vive que le précédent.

Les gaz n°s 3 et 6 ont donné tous deux une flamme très-longue et très-vive.

11° EXPÉRIENCE. — *Jolimet et Rouige* (bassin de Mons).

Charbon gras, bon pour la forge et pour la fabrication du coke. Mines à grisou.

500 grammes ont été chauffés au bain d'huile.

Le dégagement a commencé à la température de 50°.

De 50° à 160° il s'est dégagé $0^l,250$: ce gaz ne s'est pas enflammé au contact d'une allumette en ignition.

De 160° à 165°, j'ai recueilli $0^l,048$ de gaz qui a donné une flamme bleue à peine visible.

Il s'est dégagé ensuite de 160° à 330°, un gaz qui a brûlé avec une légère flamme bleue (1).

En somme, on a obtenu $0^l,958$ de gaz, soit par kilogramme $1^l,196$.

12° EXPÉRIENCE. — *Bellevue, Ferrand, Élouges* (bassin de Mons).

(1) Il est probable que le charbon avait perdu par l'exposition à l'air, depuis le jour où il avait été extrait, le gaz qu'il renfermait.

On a fait chauffer au bain d'huile des échantillons de charbon gras des mines de Bellevue, Ferrand et Élouges, dans lesquelles on rencontre le grisou.

Il s'est constamment dégagé du gaz qui brûlait avec une longue flamme au contact d'un corps enflammé.

13° EXPÉRIENCE. — *Charbon anglais* (Newcastle).

Charbon gras, propre à la fabrication du gaz et du coke. Il était resté longtemps exposé à l'air.

500 grammes ont été chauffés au bain d'huile.

Le dégagement a commencé à 50°.

De 50° à 250°, on a obtenu $0^l,500$ d'un gaz qui brûlait avec une flamme peu éclairante.

Le gaz recueilli ensuite brûlait avec une flamme éclairante.

On a eu en tout $1^l,175$, soit par kilogramme $2^l,350$.

En général, les mines du bassin de Newcastle renferment du grisou.

Les conséquences que l'on peut tirer des expériences qui précèdent sont les suivantes :

1° La houille, quand elle est récemment extraite, subit un commencement de décomposition à une température inférieure à 100° ; elle dégage du gaz et de l'eau mêlée d'huiles carburées ; le dégagement ne devient abondant qu'au delà de 100° et continue jusqu'à une température de 330°, et probablement même au delà, jusqu'au point ou la décomposition de la houille devient complète.

2° Les houilles qui proviennent de mines à grisou dégagent de l'hydrogène carboné ; celles qui proviennent de mines où il n'y a point de grisou n'en dégagent point ; les gaz qu'elles donnent consistent principalement en azote.

Cette dernière conséquence est curieuse, elle donne à l'ingénieur des mines un moyen de reconnaître *à*

priori si la veine dont il va commencer l'exploitation produira du grisou.

Il était naturel de penser, d'après les faits que je viens d'exposer, que certaines houilles, sinon toutes les houilles, perdaient quelques-uns de leurs principes par leur exposition à l'air; c'est ce que l'expérience est venue confirmer.

On sait que dans les mines à grisou le gaz se dégage de la houille; c'est dans les déblais souvent que la production de gaz est la plus abondante.

J'ai mis en évidence le dégagement spontané du gaz hydrogène carboné de la manière suivante.

Deux gros morceaux de houille de Bellevue, extraits depuis six jours environ, et arrivés directement de la fosse, ont été pulvérisés rapidement; la poussière a été placée dans un grand vase que l'on a recouvert d'une cloche de forme conique; au bout de douze heures, en enlevant la cloche, approchant nne allumette enflammée et renversant, il se produisait une flamme longue et éclairante.

J'ai répété l'expérience avec le même succès sur des charbons de Ferrand et de l'Agrappe (bassin de Mons).

Quand ces charbons avaient été plusieurs jours exposés à l'air, il ne se dégageait plus de gaz inflammable.

Quand cette exposition dure plusieurs mois, on ne retire plus de gaz hydrogène carboné, même en chauffant la houille jusqu'à 300°.

Ainsi 500 grammes de houille du nord du bois de Boussu ont été réduits en poussière et laissés cinq mois exposés à l'air; au bout de ce temps, chauffés au bain d'huile jusqu'à 300°, il s'est dégagé du gaz, mais ce gaz n'était plus inflammable.

Des expériences semblables faites sur les charbons

gras de Bellevue et d'Élouges ont donné le même résultat; le charbon frais donnait du gaz inflammable, le charbon vieux n'en donnait point.

Il n'y a pas seulement que le gaz hydrogène carboné qui se dégage par l'exposition à l'air; la houille perd encore en partie le principe gras qui détermine la formation du coke lors de la calcination.

Tous les fabricants de coke attachent une grande importance à n'employer que des charbons frais; ils assurent que le vieux charbon ne colle pas bien.

J'ai voulu vérifier cette assertion moi-même, et, pour cela, j'ai fait fabriquer en Belgique deux tonnes de coke avec des charbons gras de Jolimet et Roinge qui, depuis six mois, étaient restés sur le rivage; on avait eu soin de l'enfourner dans un four bien chaud placé au centre d'un groupe de fours en bonne allure; la cuisson a duré quarante-huit heures comme à l'ordinaire; elle a été conduite dans les mêmes conditions que celle des fours voisins où l'on avait enfourné des charbons frais.

Cependant le coke que l'on a obtenu était mal formé, en partie pulvérulent, et trop mauvais pour être livré au commerce.

Ce résultat ne pouvait provenir que d'une chose, du départ, par l'exposition à l'air, du principe gras qui fait coller le coke.

Ce principe se dégage aussi à une température peu élevée; j'ai fait chauffer à une température inférieure à 300° des houilles grasses réduites en poudre, puis je les ai calcinées dans un creuset; elles donnaient un résidu pulvérulent. Les mêmes houilles, calcinées sans avoir été préalablement desséchées, donnaient un coke bien formé.

Voici les houilles que j'ai soumises à cette expérience:

Bassin de Charleroi.

Carabiniers français. .	Houilles demi-grasses.
Lodelinsart.	
Trieukaisin.	
Bayemont	Houilles grasses maréchales.
Poirier.	

Bassin de Mons.

Haut-Flénu.	Houille sèche à longue flamme.
L'Agrappe.	Charbon gras fines-forges.
Nord du bois de Boussu.	Charbon gras à longue flamme.

Ainsi le principe gras de la houille, celui qui détermine l'agglutination de toutes les parcelles qui la composent lors de la calcination, disparaît sous l'influence d'une température de 200° à 300°; après qu'il a disparu, la houille cesse de se coller et de se boursoufler sous l'action de la chaleur.

La pression atmosphérique influe-t-elle sur le dégagement du grisou? est-il plus rapide lorsque le baromètre baisse, moins abondant et rapide lorsqu'il monte? La plupart des ingénieurs qui dirigent les mines où il y a du grisou, croient à l'influence de la pression atmosphérique sur le dégagement du gaz. Il est certain que lorsque le temps est lourd et orageux, le gaz paraît en plus grande abondance dans la veine que quand le temps est beau; mais cela peut tenir à ce que les moyens de ventilation, ventilateur ou foyer d'aérage, sont affectés par les variations atmosphériques et n'agissent plus avec la même puissance. Je n'ai point cherché à résoudre cette question, mais j'ai voulu m'assurer si le gaz hydrogène carboné se dégage quelle que soit la pression de l'atmosphère ambiant.

Voici l'expérience que j'ai faite :

J'ai mis dans un vase de forme cylindrique en cuivre 20 kilogrammes de charbon menu de l'Agrappe provenant de gros morceaux fraîchement sortis de la fosse et

pulvérisés rapidement; puis j'ai hermétiquement fermé le vase, et, à l'aide d'une pompe de pression, refoulé de l'air à l'intérieur jusqu'à ce que la pression atteignît cinq atmosphères; un robinet était placé à la partie supérieure du vase; on avait la précaution de l'ouvrir un instant et de laisser échapper quelques litres d'air afin de faire partir le gaz hydrogène carboné qui aurait pu se dégager lors de l'introduction du charbon menu.

Ce même robinet servait à recueillir du gaz; vingt-quatre heures après l'introduction du charbon menu, le gaz recueilli brûlait au contact d'un corps allumé; c'était de l'hydrogène carboné. L'expérience fut répétée sur plusieurs litres recueillis successivement et donna toujours le même résultat.

Ainsi une pression de cinq atmosphères n'empêche pas le dégagement du grisou; peut-être l'augmentation de pression a-t-elle pour effet de rendre le dégagement moins rapide; mais on ne saurait l'affirmer; ce qui est positif, c'est qu'elle ne l'empêche pas.

Les charbons provenant de mines où il n'y a point de grisou subissent-ils quelque perte par leur exposition à l'air? Il est possible qu'ils laissent dégager spontanément des gaz tels que l'azote et l'acide carbonique; s'il en était ainsi, plus de soin devrait être apporté à l'aérage de beaucoup de mines dans lesquelles il est négligé au grand détriment de la santé des classes ouvrières; il serait même du devoir de l'administration d'intervenir et de prescrire l'emploi de mesures efficaces.

Des faits que nous venons d'exposer on peut déduire les conclusions suivantes :

1° La houille éprouve, par une dessiccation à la température de 100° et au-dessus, une perte supérieure à celle qu'elle subit dans le vide sec; avec l'élévation de température la perte augmente.

2° Sous l'influence d'une température comprise entre 50° et 330°, la houille subit une véritable décomposition, elle dégage des gaz, de l'eau et des huiles carbonées dont la proportion s'élève de 1 à 2 pour 100; la perte augmente avec l'élévation de température; ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'à une température de 200° à 300°, la houille perd complétement le principe gras qui détermine la formation du coke lors de la calcination.

3° Les gaz dégagés par les houilles provenant de mines à grisou consistent principalement en hydrogènes carbonés; ceux dégagés par les houilles provenant de mines où il n'y a pas de grisou consistent principalement en azote et ne sont pas inflammables.

De là un moyen de reconnaître *à priori* si une veine de houille est susceptible de donner du grisou.

4° Les houilles provenant de mines à grisou s'altèrent par l'exposition à l'air; elles perdent de l'hydrogène carboné et une partie, sinon la totalité, du principe gras qui détermine la formation du coke lors de la calcination; elles se délitent souvent et tombent en poussière.

5° Le gaz hydrogène carboné se dégage lors même que la pression de l'atmosphère ambiant est quintuple de la pression atmosphérique.

M. Regnault exprime l'opinion que la houille ne subit aucune altération à l'air.

« Des houilles d'Anzin et de Mons, dit-il (1), qui ont » été analysées par l'un de nous, il y a vingt ans, et qui

(1) Extrait de deux rapports adressés les 15 février et 28 juin 1855, à sa Majesté l'Empereur, sur les expériences entreprises par son ordre, pour déterminer les conditions économiques de la fabrication du gaz à la houille. 5e série, t. VIII, page 54 des *Annales des mines*.

» étaient conservées dans des flacons imparfaitement » fermés par des bouchons de liége, ayant été soumises » à de nouvelles analyses, ont présenté la même com» position que celle qu'on leur avait trouvée il y a vingt » ans. Donc, dans les conditions où elles ont été conser» vées, elles n'ont subi aucune décomposition sponta» née, appréciable à une analyse délicate. »

Ensuite, ce savant cite deux expériences de fabrication de gaz faites, l'une avec de la gailleterie de Mons en magasin depuis plus de dix mois, l'autre avec du poussier de houille du bois de Saint-Ghislain; on a obtenu du bon coke et un rendement de gaz satisfaisant, l'essai fait sur des criblures de houille provenant du criblage de gaillettes tamisées, et qui séjournaient depuis plusieurs années, en tas, dans les cours de la manufacture de Sèvres, a donné également un bon résultat en coke et en gaz.

« En résumé, termine M. Regnault, nous ne nions » pas que certaines houilles, principalement celles qui » renferment des pyrites ou des schistes se délitant » facilement à l'air, ne puissent s'altérer à la longue et » devenir impropres à la fabrication avantageuse d'un » coke de bonne qualité; mais l'expérience que nous » venons de citer, et qui a été faite spécialement pour cet » objet, montre que cette altération n'est pas sensible » pour les houilles de Mons, même au bout de dix mois. »

Nous ne saurions admettre dans toute sa généralité la conclusion que M. Regnault tire des faits qu'il expose.

Observons d'abord que la fabrication du coke de gaz s'opère dans des conditions toutes différentes de celles du coke pour locomotives; dans le premier cas, on opère en vase clos, le charbon est dans une cornue chauffée par un foyer; quelle que soit la nature de la houille, elle est toujours portée à la même température.

Le coke pour locomotives est au contraire fabriqué dans des fours où l'air pénètre, et c'est le gaz que dégage la houille et une portion même du carbone fixe qu'elle renferme qui, en brûlant, développent la chaleur nécessaire à la carbonisation ; on comprend donc que les houilles, telles que celles de Jolimet et Rouige, que nous avons essayées, et qui sont de même nature que celles du bois de St-Ghislain qu'a essayées M. Regnault, donnent, après une exposition de plusieurs mois à l'air, un coke mal formé dans des fours ; tandis que si elles avaient été carbonisées dans une cornue, elles eussent pu donner du gaz abondamment et du coke bien formé.

L'expérience faite en grand sur les houilles menues du bois de Saint-Ghislain ne prouve donc rien contre nos résultats.

Quant aux expériences faites sur des gaillettes de Mons ou menus, provenant du même charbon, elles n'ont rien non plus de concluant par le même motif ; il est probable d'ailleurs que ces charbons proviennent de mines où il n'y a point de grisou, et, nous l'avons dit plus haut, nous n'avons point recherché si ces houilles subissent une perte par leur exposition à l'air.

Enfin, quant aux analyses faites sur des échantillons renfermés dans des bouteilles depuis vingt ans, et analysées déjà il y a vingt ans, on ne peut tirer de leur concordance une autre conclusion que celle qu'en tire lui-même M. Regnault, savoir : que dans les conditions où ces houilles ont été conservées, elles n'ont subi aucune décomposition *spontanée*, *appréciable à une analyse délicate*.

Mais, en admettant même que l'analyse fût parfaite, il faudrait encore qu'on eût opéré d'abord sur des échantillons fraîchement extraits de la mine.

Or si l'on examine la provenance des divers échan-

tillons de houille dont ce savant chimiste donne l'analyse dans ses belles recherches sur les combustibles minéraux, si l'on se rappelle que les chemins de fer n'existaient point alors et que les communications étaient lentes et difficiles, on restera persuadé que les échantillons sur lesquels il a opéré avaient été extraits de la mine depuis un temps plus ou moins long; ils avaient donc pu subir déjà l'altération que cause l'exposition à l'air.

En résumé, nous croyons avoir établi d'une manière certaine que les houilles provenant de mines à grisou subissent par leur exposition à l'air une modification véritable dans leur composition; pour les houilles provenant de mines où il n'y a pas de grisou, nous ne voudrions exprimer aucune opinion, car nous n'avons pas suffisamment étudié la question.

Dans les recherches auxquelles nous nous sommes livrés, nous n'avons point fait subir aux échantillons que nous avons analysés de dessiccation à une température de 110° à 120°.

Seulement, nous les avons toujours laissés préalablement de douze à vingt-quatre heures sous la cloche de la machine pneumatique dans le vide sec; la perte qu'ils éprouvent est faible et on s'affranchit ainsi de la chance d'erreur que causerait la présence d'une proportion notable d'eau hygrométrique absorbée par une cause accidentelle.

Détermination de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène.

La méthode qu'a suivie M. Regnault pour analyser la houille consiste à la brûler avec l'oxyde de cuivre, et à dégager à la fin de l'opération de l'oxygène pour achever la combustion et chasser tous les produits gazeux du tube; à cet effet, on place à l'extrémité de celui-ci

deux ou trois grammes de chlorate de potasse pur et fondu que l'on chauffe à la fin de l'opération.

Pour réduire les vapeurs nitreuses qui se forment, on place une couche de cuivre réduit par l'hydrogène dans la partie antérieure du tube.

Cette méthode présente tout le degré d'exactitude désirable, mais elle a l'inconvénient d'être longue et d'exiger l'emploi d'une quantité considérable d'oxyde de cuivre et de cuivre réduit par l'hydrogène.

J'ai adopté de préférence une autre méthode qui présente, il est vrai, une légère erreur sur le dosage de l'hydrogène, erreur que nous apprécierons plus loin, mais qui a l'avantage d'être plus rapide, exige beaucoup moins d'oxyde de cuivre, et permet de se servir deux ou trois fois du même tube.

Elle consiste à brûler la houille dans un courant d'oxygène sec, et à faire passer les gaz qui se forment à travers une couche d'oxyde de cuivre qui achève la combustion.

Le tube en verre réfractaire a $0^m,60$ environ de longueur et est ouvert par les deux bouts; on le nettoie d'abord avec du papier décollé que l'on fait passer de part en part, on l'entoure d'une feuille de cuivre, puis on le dessèche parfaitement en le remplissant presque entièrement d'oxyde de cuivre qui vient d'être porté au rouge et se trouve encore à une température de 200° à 300°.

Quand le tube est vide, on le remplit de suite sur la moitié de sa longueur d'oxyde de cuivre chaud et récemment calciné, et on le porte sur la grille; alors on introduit dans le tube une capsule de platine qui en épouse la forme et qui a $0^m,10$ environ de longueur; dans cette capsule se trouve la houille que l'on veut analyser.

La capsule est placée dans une autre de même forme et plus grande; elle vient toucher à la couche d'oxyde de cuivre.

Cela fait, on met le tube en communication avec le gazomètre à oxygène; à l'autre bout s'adaptent les tubes destinés à recueillir l'eau et l'acide carbonique et le tube témoin.

L'oxygène s'obtient par la calcination du chlorate de potasse pur; on le recueille sur l'huile dans un gazomètre; il se dessèche déjà, lors de sa préparation, en traversant un grand tube de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique.

En sortant du gazomètre il traverse: 1° un appareil à boules de Liebig dans lequel se trouve une dissolution à 1,27 de potasse pure qui le dépouille de toute trace d'acide carbonique; 2° un grand tube en U rempli de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique qui enlève toute trace d'humidité; il arrive donc pur et parfaitement sec dans le tube à combustion.

Celui-ci n'est entouré d'une feuille de cuivre que sur les deux tiers de sa longueur, là où se trouve l'oxyde de cuivre; sur le surplus, la feuille de cuivre ne l'enveloppe qu'à moitié, la partie supérieure est libre, l'on voit la capsule et l'on peut suivre les progrès de la combustion.

Voici comment l'opération est conduite:

Quand l'oxyde de cuivre a été porté au rouge, on fait arriver lentement l'oxygène, et l'on met quelques charbons en arrière de la capsule; on en place aussi quelques-uns sous celle-ci, mais de manière que la température de la houille ne soit pas assez élevée pour qu'elle s'enflamme. Des gaz et des matières liquides et volatiles se dégagent; ils se brûlent complétement en traversant la couche d'oxyde de cuivre; au bout de quelques minutes on met des charbons bien enflammés à l'extrémité de la capsule, la houille prend feu, puis, au fur et à mesure que la combustition avance, on place plus avant de nouveaux charbons; la combustion

s'opère toujours sur le point extrême, là où arrive l'oxygène, et n'avance qu'après que les parties en ignition sont réduites en cendres.

Il est nécessaire, surtout avec les houilles grasses et flambantes, de déterminer d'abord une distillation lente à une basse température sans enflammer la houille; autrement, quand celle-ci s'enflammerait, il y aurait production subite et abondante de gaz, projection d'oxyde de cuivre dans le tube à eau et combustion incomplète des matières dégagées. Il est prudent, pour éviter la projection, de placer en tête de la colonne d'oxyde de cuivre, de la tournure de cuivre grillée sur une longueur de quelques centimètres.

L'opération est terminée quand on n'aperçoit plus aucun point brillant dans la capsule.

On continue à faire passer le courant d'oxygène pour chasser tous les gaz provenant de la combustion de l'appareil; un demi-litre à un litre suffit.

Alors on enlève les tubes qui ont servi à recueillir l'eau et l'acide carbonique; puis on retire avec un fil de fer terminé par une pointe recourbée la capsule de platine qui contient la cendre et que l'on pèse.

J'ai opéré généralement sur 1 gramme ou sur $0^{g},500$.

Lorsque la houille n'est point flambante, il suffit de prendre un tube de $0^{m},60$ de longueur; un tube de $0^{m},40$ à $0^{m},50$ de longueur suffit pour des houilles maigres et le coke; on pourrait même, dans ce cas, se passer d'oxyde de cuivre; mais pour des houilles flambantes et gazeuses il faut prendre un tube de 1 mètre au moins de longueur, et augmenter considérablement la longueur de la couche d'oxyde de cuivre. Il convient aussi de n'opérer que sur $0^{g},50$ à $0^{g},60$ de matière.

Généralement le même tube peut servir sans changement à deux ou trois opérations successives; on laisse

seulement refroidir la partie dans laquelle est introduite la capsule.

L'oxyde de cuivre que l'on retire des tubes peut servir pour d'autres opérations.

Il est facile de s'assurer que l'incinération est complète; il suffit pour cela de porter la capsule dans le fourneau à moufle; elle ne doit pas changer de poids.

Je me suis assuré plusieurs fois, en faisant marcher l'appareil sans la houille, qu'il n'y avait aucun changement dans les poids des tubes d'absorption.

La seule cause d'erreur sensible que présente la méthode que je viens de décrire, consiste dans la production d'acide nitrique qui se condense avec l'eau dans le tube à eau; l'eau que l'on recueille dans le petit tube placé à l'intérieur du tube en V est toujours légèrement acide, et cet acide est de l'acide nitrique; en présence du l'oxygène il ne peut pas se former de bioxyde d'azote; on ne voit jamais de teinte jaune indiquant la présence de l'acide hypoazotique. C'est dans le tube en U que se condense l'acide nitrique; on ne remarque point qu'il en passe dans le tube à potasse; comme l'acide nitrique ne peut subsister sans eau, il est naturel d'admettre qu'il se retrouve en entier dans le tube à pierre ponce; c'est donc sur le dosage de l'hydrogène que porte l'erreur (1).

J'ai cherché à apprécier quelle pouvait être cette erreur, et, à cet effet, j'ai fait les expériencs suivantes:

1° *Houille de Mariemont maigre* (bassin du Centre).

0g,50 ont été brûlés dans un courant d'oxygène, et les produits de la combustion recueillis dans un tube à

(1) J'ai recherché la présence de l'acide nitrique dans les dissolutions de potasse qui avaient servi à l'absorption de l'acide carbonique; c'est à peine si le sulfate ferreux dénote l'existence de traces de nitrates.

boules de Liebig renfermant une dissolution de potasse.

Liqueur d'hypermanganate de potasse.

22 centimètres cubes de liqueur d'hypermanganate de potasse peroxydent $0^g,02$ de fer.

Après le mélange de la dissolution de $0^g,02$ de fer pur dans l'acide hydrochlorique avec la dissolution de potasse, il suffit de 11 centimètres cubes pour achever la peroxydation, d'où l'on déduit :

Acide nitrique.	$0^g,003$
Azote.	$0^g,0008$

Le poids du tube à eau se trouve augmenté de $0^g,003$; ce qui augmente le poids de l'hydrogène de $0^g,000333$, soit $0^g,07$.

2° *Houille du Poirier grasse* (bassin de Charleroi).

$0^g,50$ de houille ont été brûlés dans un courant d'oxygène, et les produits de la combustion recueillis dans un tube à boules de Liebig renfermant une dissolution de potasse.

22 centimètres cubes de liqueur d'hypermanganate de potasse peroxydent $0^g,02$ de fer.

Après le mélange de la dissolution de $0^g,02$ de fer pur dans l'acide hydrochlorique avec la dissolution de potasse, il a suffi de 4 centimètres cubes pour achever la peroxydation, d'où l'on déduit :

Acide nitrique. . . . . $0^g,005$

L'erreur sur le poids de l'eau est donc de $0^g,005$, et sur l'hydrogène de $0^g,00055$, soit 0,11 pour 100.

Carabinier français. Veine Huit-Paumes.

Charbon demi-gras de Charleroi.

Houille pesant $0^g,50$ brûlée dans un courant d'oxygène.

	cent. cub.
Titre de la liqueur avant l'expérience . .	5,4
Pour $0^g,04$' de fer après l'expérience . . .	0,8
Différence.	4,6

équivalent à $0^g,009$ d'acide nitrique; ce qui donne une erreur de $0^g,001$ sur le dosage de l'hydrogène, soit 0,2 pour 100.

On peut dire qu'en général l'erreur est de 0,1 pour 100 à 0,2 pour 100; comme elle a toujours lieu dans le même sens, les résultats restent comparables entre eux; on peut donc la négliger et considérer comme suffisamment approchés les résultats obtenus.

La méthode que nous avons employée pour doser l'hydrogène et le carbone contenus dans la houille, convient en général pour toutes les matières organiques solides ne renfermant pas ou renfermant peu d'azote.

Elle convient en particulier pour le dosage du carbone que renferme la fonte.

Détermination de l'azote.

Toutes les houilles que j'ai essayées renferment de l'azote; la réaction légèrement acide que présente l'eau recueillie dans le tube à pierre ponce après la combustion, le prouve.

L'azote peut être déterminé, soit par la méthode de M. Dumas, soit par celle de MM. Will et Warentrapp, modifiée par M. Péligot; c'est cette dernière que j'ai adoptée de préférence à toute autre comme plus expéditive et plus exacte.

Comme l'azote n'est qu'en faible proportion, je ne l'ai déterminé que dans un petit nombre de houilles prises comme types. En général, j'ai déterminé l'azote et l'oxygène ensemble par différence.

Détermination des cendres et du coke.

On obtient directement le poids des cendres dans la méthode d'analyse que nous avons suivie; comme vérification, nous avons constamment fait l'incinération de

5 grammes dans une capsule de platine portée dans la moufle d'un grand fourneau de coupelles.

C'est dans la même moufle que nous opérions la calcination de la houille ; le creuset de platine était placé avec son couvercle dans l'intérieur d'un creuset en terre, recouvert lui-même ; entre les deux couvercles, on mettait quelques morceaux de charbon de bois pour empêcher la rentrée de l'air lors du refroidissement.

La calcination s'opérait généralement sur 5 grammes et durait de dix à quinze minutes ; à la fin, on donnait un coup de feu en poussant le creuset au fond de la moufle et fermant celle-ci.

Quelque pur que soit un morceau de houille, il n'a point de composition homogène en cendres ; trois morceaux retirés d'un même bloc de houille m'ont donné des résultats différents.

	gr.		gr.	p. 100.
1er Morceau pesant	7,930,	cendres	0,135,	1,70
2e Morceau pesant	10,432,	cendres	0,230,	2,20
3e Morceau pesant	9,059,	cendres	0,216,	2,38

Il faut même réduire la houille en poussière très-fine pour trouver sur le même échantillon la même teneur en cendres.

Pour le même échantillon pulvérisé et passé à un tamis de crin assez fin, nous avons trouvé :

	p. 100.
1er Essai.	3,54
2e Essai.	3,90

Les mêmes variations se reproduisent dans la calcination.

Ainsi deux calcinations faites sur le même échantillon pulvérisé du nord du bois de Boussu m'ont donné :

	p. 100.
1er Essai.	68,65
2e Essai.	69,15
Différence.	0,50

Il importe en conséquence de n'opérer que sur des échantillons réduits en poussière très-fine.

J'ai suivi, dans l'étude des houilles qui va suivre, la classification adoptée par les mineurs dans chaque bassin; elle repose sur les propriétés industrielles des houilles et la division par groupes des couches qui les fournissent. De cette manière, il sera facile d'opérer des rapprochements entre les houilles similaires des divers bassins.

SECONDE PARTIE.

I. BASSIN DE MONS.

Le bassin de Mons s'étend de l'est à l'ouest, depuis Mons jusqu'à peu de distance de Quiévrain, sur une longueur de 15 à 16 kilomètres environ et sur une largeur de 7 à 8 kilomètres (1).

Les couches qu'il renferme sont nombreuses; mais leur épaisseur est faible; elle atteint rarement 2 mètres.

La direction générale des couches est de l'est à l'ouest; quant à l'inclinaison, elle est très-variable.

Les veines exploitées au nord de la partie reconnue du bassin sont très-régulières et présentent de grandes plateures inclinées de 10° à 20° du sud vers le nord; à une certaine profondeur, elles se relèvent et pendent au contraire du nord vers le sud; mais elles sont tellement accidentées que l'on n'a jamais pu y établir d'exploitation suivie.

Lorsqu'on s'avance vers le sud, on trouve des veines avec des allures moins régulières; elles sont formées de plis et de replis dont les uns pendent au nord, les au-

(1) Nous ne parlons ici que de la partie reconnue et exploitée du bassin.

tres au sud; les premiers portent le nom de plats, les seconds, celui de droits ou dressants.

On admet qu'à une profondeur plus ou moins grande les veines se terminent par des plateures immenses à peu près parallèles à celles exploitées au nord du bassin; et d'après la même analogie, on suppose aussi qu'elles se relèvent au nord et pendent alors du nord vers le sud.

L'ensemble des grands plats du midi et des dressants et plateures, qui se trouvent à leur suite, s'appelle comble du midi ou versant du midi; l'ensemble des grands plats ou plateures et dressants, que l'on suppose exister au nord, se nomme comble du nord ou versant du nord.

La ligne suivant laquelle a lieu l'intersection des combles du nord et du midi s'appelle Nage.

Ainsi le bassin de Mons se composerait de deux parties distinctes, la partie sud qui renferme un grand nombre de couches exploitables et exploitées, la partie nord qui formerait le pendant de la première, mais dans laquelle on n'a pu établir aucun grand siége d'exploitation, et dont l'existence est encore problématique.

Nous ne nous occuperons que de la partie sud.

On doit à MM. Delneufcourt, Albert Toiliez, Jules le Toret, D. Gain, Émile et César Plumat, une carte géologique du bassin de Mons et deux coupes de ce bassin à MM. Plumat.

La première coupe est faite suivant un plan vertical du nord au sud passant par les fosses de l'Agrappe, Picquery, Ostennes et Cocheaprès.

La deuxième, par un plan parallèle au premier et passant par les fosses de Bellevue, Longterne-Trichères, grande machine à feu de Dour, et nord du bois de Boussu.

Ces coupes présentent la succession de toutes les veines que l'on rencontre dans le bassin de Mons.

Les veines figurées dans la première coupe sont divisées en quatre groupes en allant du nord au sud.

Charbon flenu	54
Charbon dur	28
Charbon fines-forges	36
Charbon sec	38

Nous suivrons cette classification que confirment nos analyses ; seulement, nous diviserons les flenus en deux classes, les flenus maigres et les flenus gras, ou bien houilles sèches à longue flamme et houilles grasses à longue flamme.

Parmi les veines figurées dans la seconde coupe ne se trouvent point de veines de flenu sec ; les trente-trois premières couches produisent de la houille grasse à longue flamme ; celles du n° 34 au n° 63 des charbons durs, celles du n° 64 au n° 106 des charbons fines forges et du n° 107 à 116 des charbons maigres.

Les charbons flenu brûlent avec une flamme longue et fument beaucoup ; ils s'allument facilement, se collent légèrement et forment voûte ; ce qui rend leur usage très-commode pour le chauffage des chaudières à vapeur.

Ils donnent beaucoup de gaz, mais le rendement en coke n'est pas abondant ; les charbons flenu provenant des veines les plus au nord collent à peine ; ceux des veines plus au midi donnent au contraire un coke bien formé.

Ce qui caractérise le flenu, c'est qu'il se présente en morceaux bien taillés et rhomboèdres d'une régularité remarquable, dont les faces portent des stries caractéristiques auxquelles on a donné le nom de maille du flenu.

Les houilles flenu grasses présentent le même caractère ; mais il est moins prononcé dans celles provenant de la partie ouest du bassin.

Le passage des flenus gras aux charbons durs s'opère d'une manière insensible.

Ceux-ci donnent en brûlant une flamme plus courte que les précédents ; ils durent plus longtemps au feu ; d'ou leur vient la dénomination de charbon dur.

Ils sont propres au chauffage des chaudières à vapeur, mais ils exigent du soin et de la surveillance de la part du chauffeur.

Ils produisent moins de gaz que le flenu, mais donnent plus de coke et un coke meilleur.

A défaut de fines forges ils peuvent servir à forger ; ils sont employés à la fabrication du coke pour les chemins de fer.

Ils présentent à un moindre degré la forme de prisme rhomboïdal qui caractérise le flenu.

Les charbons fines forges sont spécialement propres à la fabrication du coke pour hauts fourneaux et locomotives ainsi qu'au travail de la forge.

On les emploie aussi avec avantage pour chauffer les fours à réverbère, soit seuls, soit mélangés avec des charbons moins gras.

Pour les utiliser au chauffage des chaudières à vapeur, il faut prendre beaucoup de soin, piquer souvent le feu, dégager les barreaux et casser la croûte qui se forme.

Ils donnent peu de gaz et beaucoup de coke.

Nous ne mentionnons les charbons maigres que pour mémoire ; ils ne donnent lieu à aucune exploitation importante dans le bassin de Mons.

Nous avons réuni dans un seul tableau les résultats de nos analyses de houille de ce bassin.

Bassin de Mons.

DÉSIGNATION DE LA HOUILLE.		Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Cendres.	Résidu de la calcination.	DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				Rapport du résidu de la calcination au carbone.	Pouvoir calorifique.	OBSERVATIONS.
							Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Résidu de la calcination.			
Houilles flenu sèches.													
Haut flenu.	. . . .	5,42	82,95	10,93	0,70	63,38	5,46	83,53	11,01	63,32	75	6,920	Coke fritté.
Belle et bonne	Petite cossette, fosse nº 21.	5,50	80,03	9,37	5,10	63,00	5,80	84,33	9,87	61,01	72	7,082	
Belle et bonne	Grande houbarte, fosse nº 21	5,60	82,41	10,89	1,10	64,76	5,66	83,33	11,01	64,36	77	6,946	
Levant du flenu.	. . . .	5,22	82,91	10,13	1,74	66,96	5,31	84,38	10,31	66,37	78	6,966	
Couchant du flenu.	. . . .	5,38	81,73	9,77	3,12	65,48	5,55	84,36	10.09	64,36	76	7,023	
Midi du flenu.	Maigre.	4,92	79,96	8,89	6,23	66,02	5,24	85,27	9,49	63,76	74	7,039	
Midi du flenu.	Demi-gras.	5,12	83,38	9,70	1,80	65,74	5,21	84,91	9,88	65,11	76	6,966	
Houilles flenu grasses.													
Grand Hornu.	. . . .	5,63	83,30	8,54	2,53	68,31	5,78	85,46	8,76	67,48	78	7,103	Coke bien formé.
Nord du bois de Boussu.	Grand Gaillet-sentinelle.	5,34	82,25	9,51	2,90	68,16	5,50	84,70	9,80	67,20	79	7,049	
Nord du bois de Boussu.	Fosse Alliance.	5,53	80,55	9,52	4,40	69,15	5,78	84,26	9,96	67,73	80	7,072	
Grand Buisson	. . . .	5,40	83,40	7,76	3,44	70,10	5,59	86,37	8,04	69,03	79	7,234	
Houilles dures.													
Escouffiaux	. . . .	5,49	85,10	7,25	2,16	72,90	5,61	86,98	7,41	72,30	83	7,297	Coke bien formé.
Baron-de-Meklembourg	. . . .	5,13	83.17	6,99	4,80	72,65	5,39	87,36	7,25	71,27	81	7,281	
Sainte-Hortense.	Bonne veine.	5,35	85,11	7,61	1,93	75,17	5,35	86,78	7,77	74,68	86	7,290	
Houilles fines forges.													
Ferrand	. . . .	4,60	86,13	7,92	1,35	74,71	4,67	87,30	8,03	74,36	85	7,101	Coke bien formé.
Elouges	. . . .	5,04	86,69	6,86	1,41	74,86	5,11	87,93	6,96	74,50	84	7,270	
Agrappe	Veine 5 paumes.	4,78	86,68	6,10	2,44	78,81	4,90	88,85	6,25	78,28	88	7,311	
Agrappe	Veine Grande-Céreuse.	4,87	85,30	6,49	3,34	80,33	5,04	88,25	6,71	79,65	90	7,285	
Bellevue.	Fosse nº 8.	4,48	86,38	6,09	3,05	80,58	4,62	89,10	6,28	79,96	89	7,268	
Jolimet et Roinge.	. . . .	4,87	88,85	4,46	1,82	80,51	4,96	90,49	4,55	80,14	88	7,460	

La proportion de cendres est variable, elle descend rarement au-dessous de 1 p. 100, et s'élève jusqu'à 6 p. 100.

Si l'on fait abstraction des cendres, et que l'on considère les matières fixes et volatiles séparées par la calcination, on arrive à une loi bien nette : c'est que la proportion de matières fixes augmente au fur et à mesure que l'on avance du nord au sud, tandis que celle de matières volatiles diminue.

Elle est de 61 à 67 p. 100 pour les charbons flenu, de 67 à 70 p. 100 pour les houilles flenu grasses, de 70 à 75 p. 100 pour les houilles dures, de 74 à 80 p. 100 pour les charbons fines forges.

La proportion d'hydrogène est de 5,20 à 5,80 p. 100 pour les flenu secs, de 5,35 à 5,78 p. 100 pour les houilles grasses à longue flamme, de 5,35 à 5,61 p. 100 pour les houilles dures et de 4,62 à 5,11 p. 100 pour les fines forges.

La proportion d'hydrogène n'a donc rien de caractéristique pour les trois premières espèces de houilles ; elle est sensiblement moindre pour les fines forges.

La proportion de carbone est :

	p. 100.		p. 100.
Pour les flenus secs de.	83,33	à	85,27
— flenus gras de.	84,26	à	87,36
— houilles dures.	86,78	à	87,36
— houilles fines forges de. . .	87,30	à	90,49

On voit que la proportion de carbone va en augmentant au fur et à mesure que l'on avance du sud vers le nord, et que le passage d'une catégorie de houille à la suivante s'opère par une augmentation de carbone.

La proportion d'oxygène et d'azote est :

	p. 100.		p. 100.
Pour les flenus secs de.	11,01	à	9,49
— flenus gras de.	9,96	à	8,04
— houilles dures de.	7,77	à	7,25
— fines forges de.	8,03	à	4,53

On peut dire d'une manière générale que la proportion d'oxygène et d'azote va en diminuant au fur et à mesure que l'on avance du nord vers le sud, et que dans le passage d'une catégorie de houille à la suivante il y a une diminution d'oxygène et d'azote.

Un élément qui joue un grand rôle dans le manière dont les houilles se comportent au feu, c'est le rapport entre le carbone total et le carbone qui reste dans le résidu de la calcination, lequel se compose uniquement de carbone et de cendres. J'ai établi ce rapport dans une colonne distincte ; on voit qu'au fur et à mesure qu'on se rapproche des charbons gras, la partie de carbone que se dégage avec les matières volatiles est de plus en plus faible.

C'est moins par l'augmentation de la quantité totale de carbone que par l'augmentation relative du carbone fixe, qui se distinguent les houilles des diverses catégories.

On peut prévoir déjà que les pouvoirs calorifiques suivent la même loi que les proportions de carbone.

Ils sont, abstraction faite des cendres :

	p. 100.		p. 100.
Pour les flenus secs de.	6,920	à	7,082
— flenus gras de.	7,046	à	7,234
— houilles dures de.	7,281	à	7,297
— houilles grasses de.	7,101	à	7,460

Entre le pouvoir calorifique le plus faible et le plus élevé la différence est de 8 p. 100.

De la comparaison des résultats obtenus avec les charbons de la partie est du bassin et ceux de la partie ouest, ou tire cette conséquence :

« Que l'on exploite dans la partie ouest du bassin le » prolongement des couches de la partie est, sauf le » système des couches de flenus secs qui manque com- » plétement, »

Prenons par exemple les deux termes extrêmes des séries de veines, l'Agrappe et Bellevue ; nous avons trouvé :

DÉSIGNATION.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Matières fixes.
Agrappe. Veine 5 paumes.	4,90	88,85	6,25	79,54
Bellevue	4,62	89,10	6,28	79,99

Sainte-Hortense se rapproche beaucoup du Baron-de-Mecklembourg.

DÉSIGATION.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Matières fixes.
Sainte-Hortense.	5,38	86,78	7,77	74,85
Baron-de-Mecklembourg. .	5,39	87,36	7,25	71,37

Les données géologiques confirment complétement celles de l'analyse.

Détermination de l'azote.

J'ai déterminé l'azote sur un petit nombre d'échantillons.

Haut flénu. — 10 centimètres cubes d'acide sulfurique normal renferment 0g,484 d'acide sulfurique et équivalent à 0g,1694 d'azote.

Houille pesant 0g,40.

	cent. cub.
Titre de l'acide avant l'expérience. . . .	33,1
— après l'expérience. . . .	32,2
Différence	00,9
Équivalent à azote 0g,0046, soit.	1,15 p. 100.

Escoufflaux. — 10 centimètres cubes d'acide sulfurique normal équivalent à 0g,1694 d'azote.

Houille pesant 0g,40.

		cent. cub.
Titre de l'acide	avant l'expérience. . . .	33,1
—	après l'expérience. . . .	32,1
	Différence.	01,0

Équivalent à azote $0^g,005$, soit. . . . . 1,25 p. 100.

Agrappe, Veine grande séreuse, Fosse grand trait.

Houille pesant $0^g,40$.

		cent. cub.
Titre de l'acide	avant l'expérience. . . .	33,6
—	après l'expérience. . . .	32,5
	Différence	01,1

Équivalent à azote $0^g,0055$, soit. . . . . . 1,375 p. 100.

La proportion d'azote paraît un peu plus forte dans les houilles grasses que dans les houilles flenu.

En résumé, la classification adoptée généralement pour les houilles du bassin de Mons, et fondée sur leurs usages industriels, se trouve confirmée par l'analyse chimique ; il convient donc de distinguer les quatre catégories suivantes :

1° Flenu sec ou houilles sèches à longue flamme ;

2° Flenu gras ou houilles grasses à longue flamme ;

3° Charbons durs ou bien houilles grasses à flamme longue, mais moins longue que la précédente, improprement nommées quelquefois demi-grasses ;

4° Charbons fines forges ou bien houilles grasses maréchales à courte flamme.

Le passage des houilles de la première catégorie à celles de la seconde et de celle-ci aux suivantes, s'opère par une diminution dans la proportion d'oxygène et d'azote et une augmentation dans celle de carbone ; ce qui est caractéristique c'est que le rapport de la partie fixe du carbone à la quantité totale du carbone va en augmentant ; c'est la partie fixe du carbone qui s'accroît ; loin de profiter de l'accroissement du carbone,

la partie volatile diminue, circonstance qui, jointe aux diminutions d'hydrogène et d'oxygène, indique un changement profond dans la manière dont se combinent les éléments.

La proportion d'hydrogène ne diminue sensiblement que quand on arrive aux houilles fines forges ; elle paraît cependant aller en diminuant au fur et à mesure que l'on avance des flenus vers les houilles fines forges.

La proportion d'azote varie de 1 à 1 1/2 p. 100 ; elle paraît plus grande dans les houilles fines forges que dans les flenus.

Quant au pouvoir calorifique, il augmente au fur et à mesure que l'on arrive aux fines forges.

Les densités ne présentent aucune différence bien saillante, elles varient de 1,26 à 1,30 ; cependant si l'on se reporte au tableau n° 2 où elles sont consignées, on remarquera que les houilles grasses paraissent un peu plus denses que les houilles flenus.

II. Bassin du centre.

Le bassin du Centre est situé à l'est de Mons ; il commence vers Strépy et Bracquegnies et s'étend jusqu'à Herlaimont sur une longueur d'environ 12 kilomètres.

Les couches sont dirigées de l'est à l'ouest, elles pendent du nord vers le sud.

Si le bassin du Centre fait suite à celui de Mons, c'est le prolongement du comble du Nord que l'on exploite aujourd'hui.

On distingue trois qualités de charbon : le gras, le demi-gras et le maigre.

Les charbons gras sont bons pour la forge et la fabrication du coke ; ils ne sont pas employés pour la fabrication du gaz.

Le charbon maigre ne colle point quand il est calciné en vase clos ou donne un coke à peine formé, cependant il ne décrépite point au feu.

Le charbon demi-gras tient le milieu entre les charbons maigres et les charbons gras ; il s'agglutine un peu, mais pas assez pour donner du bon coke ; il est impropre à la fabrication du gaz et à la forge.

Les charbons du Centre sont en général très-estimés ; ils brûlent avec une flamme courte, mais cette flamme est très-chaude ; ils durent longtemps au feu.

Ils sont recherchés pour les usages domestiques ; les charbons demi-gras ou maigres le sont surtout à cause de la propriété dont ils jouissent de brûler sans fumée.

J'ai réuni dans le tableau suivant les résultats de l'analyse des houilles du Centre.

Bassin du Centre.

DÉSIGNATION de la houille.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Cendres.	Résidu de la calcination.	DÉDUCTION faite des cendres. Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Résidu de la calcination.	Rapport du résidu de la calcination au carbone.	Pouvoir calorifique.	OBSERVATIONS.
Houilles grasses.												
Haine-Saint-Pierre . .	4,49	85,82	7,29	2,40	81,63	4,60	87,93	7,47	81,17	92	7,447	Coke bien formé, très-boursouflé.
Bois du Luc.	4,64	82,73	7,13	5,50	78,80	4,91	87,54	7,55	77,56	83	7,184	Coke boursoufle.
Sars-Longchamps. . .	4,52	84,61	6,58	4,29	81,61	4,72	88,40	6,88	80,78	91	7,222	Coke boursoufle et bien formé.
La Louvière	4,64	86,44	4,12	4,80	80,01	4,85	90,42	4,73	79,03	92	7,455	Coke boursouflé.
Bracquegnies	4,69	88,40	5,21	1.70	80,22	4,77	89.93	5,30	79,87	88	7,387	Coke formé, très-boursouflé.
Mariemont.	4,68	87,36	5,68	2,28	81,05	4,79	89,40	5,81	80,60	90	7,338	Coke bien formé, boursouflé.
Houssu.	4,56	86,40	4,56	6,82	83,90	4,82	90,01	5,00	82,72	91	7,427	Coke un peu boursouflé.
Houilles demi-grasses												
Haine-Saint-Pierre . .	4,43	83,40	5,84	6,33	82,64	4,73	89,14	6,23	81,46	91	7,295	Coke bien formé, à peine boursouflé.
Bois du Luc	4,48	8,42	5,70	1,70	77,60	4,55	89,64	5,81	77,21	86	7,303	Coke formé, légèrement boursouflé.
Barcoup.	4,28	87,26	5,56	2,90	82,45	4,41	89,87	5,72	81,92	91	7.294	Coke bien formé, non boursouflé.
Sars-Longchamps. . .	4,43	87,02	6,57	1,98	80,51	4,52	88,78	6,70	80,11	90	7,210	Coke à peine formé, non boursouflé.
Mariemont.	4,31	88,62	4,77	2,30	83,70	4,41	90,70	4,89	83,31	91	7,375	Coke formé, non boursouflé.
Mariemont.	4,57	84,76	5,61	5,49	84,66	4,38	89,68	5,94	83,76	93	7,267	Coke formé, un peu mieux agglutiné.
La Louvière.	4,57	83,27	5,70	6,47	82,73	4,88	89,02	6,10	81,53	88	7,323	Coke formé, non boursouflé.
Bracquegnies	4,30	90,46	4,34	0,90	84.79	4,34	91,28	4,38	84,65	92	7,415	Coke formé, non boursouflé.
Houssu.	4,85	87,47	4,72	2,96	83,50	4,99	90,14	4,87	82,99	92	7,533	Coke à peine formé.
Barcoup	4,20	87,75	5,45	2,60	82,97	4,31	90,09	5,60	82,51	91	7,290	Coke à peine formé.

On voit que la proportion d'hydrogène est plus considérable dans les charbons gras que dans les charbons demi-gras, la proportion de carbone plus faible, celle d'oxygène et d'azote plus élevée; il y a peu de différence entre les proportions de carbone fixe et les rapports du carbone fixe à là quantité totale de carbone; mais de deux charbons provenant de la même mine, c'est toujours le plus gras qui renferme le moins de carbone fixe.

La composition des houilles grasses du Centre est presque identique avec celle des houilles grasses de Mons; les demi-gras n'ont pas leurs similaires.

Il n'y a point, parmi les échantillons que nous avons analysés, de houilles maigres proprement dites.

Le pouvoir calorifique des houilles du Centre est en général très-élevé; il est égal ou supérieur à celui des houilles grasses de Mons.

Détermination de l'azote.

Nous avons déterminé l'azote dans deux échantillons.

1° *Bracquegnies demi-gras.* — Houille pesant $0^g,40$.

10 centimètres cubes de l'acide sulfurique normal équivalent à $0^g,1694$ d'azote.

		cent. cub.
Titre de l'acide avant l'expérience	. . .	33,5
— après l'expérience	. . .	32,7
Différence	. . .	00,8

Équivalent à azote $0^g,004$, soit. . . . . 1,00 p. 100.

2° *Mariemont demi-gras.* — Houille pesant $0^g,40$.

		cent. cub.
Titre de l'acide avant l'expérience	. . .	33,7
— après l'expérience	. . .	33,1
Différence	. . .	00,6

Équivalent à azote $0^g,003$, soit. . . . . 0,75 p. 100.

La proportion d'azote est, on le voit, peu élevée.

En résumé, sur les deux catégories de combustible que présente le bassin du Centre, une seule, celle des houilles fines forges, se trouve dans le bassin de Mons; les houilles demi-grasses forment une catégorie nouvelle.

Aux quatre divisions que nous avons admises dans ce bassin devra donc s'ajouter dans l'échelle ascendante une autre division, celle des houilles demi-grasses.

On donne souvent aux houilles dures ou grasses flambantes de Mons le nom de demi-grasses; cette qualification nous paraît erronée; car la qualification de *gras* appliquée à la houille indique surtout la propriété qu'elle possède de s'agglutiner facilement, de se fondre en quelque sorte sous l'action de la chaleur; or les houilles dures de Mons jouissent de cette propriété à un haut degré. Cette dénomination pourrait en outre induire en erreur en laissant croire à une similitude de propriétés entre les houilles dures de Mons et les houilles demi-grasses du Centre; nous la réserverons donc pour celles-ci; elle leur convient bien, car elles s'agglutinent à peine sous l'action de la chaleur.

La densité des houilles du Centre varie de 1,27 à 1,30; elle est en général assez élevée.

III. Bassin de Charleroi.

Le bassin houiller de Charleroi fait suite à celui du Centre; les charbonnages les plus l'ouest et les plus près de ceux du Centre sont les charbonnages de Courcelles et du Piéton; à l'extrémité est, on trouve ceux d'Auvelais et de Falunée; sa longueur est d'environ 30 kilomètres et sa largeur de 10 kilomètres.

Les couches présentent une succession de droits et de plats dont l'inclinaison est généralement du nord vers le sud; la direction est de l'est à l'ouest.

On distingue trois qualités principales de houille :

1° Houille grasse ou fines forges;

2° Houille demi-grasse;

3° Houille maigre.

Comme dans le bassin du Centre, les veines de houille grasse sont à l'extrémité sud du bassin, et en avançant vers le nord, on trouve successivement les séries de veines de houille demi-grasse et de houille maigre.

Le tableau suivant renferme les résultats de l'analyse d'un certain nombre de houilles.

Bassin de Charleroi.

DÉSIGNATION DE LA HOUILLE.		Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Cendres.	Résidu de la calcination.	DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				Rapport du résidu de la calcination au carbone.	Pouvoir calorifique.	OBSERVATIONS.
							Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Résidu de la calcination.			
NOMS DES MINES.	NOMS DES FOSSES ET DES VEINES.												
Houille grasse.													
Saint-Martin.	Fosse Saint-Martin n° 3, veine Bavette.	4,62	86,23	5,81	3,34	79,48	4,77	89,20	6,03	78,77	88	7,317	Coke bien formé, boursouflé.
Trieukaisin.	Fosse n° 6, veine 10 paumes.	4,68	86,47	5,30	3,55	84,43	4,85	89,65	5,50	83,86	93	7,377	
Poirier	Fosse Saint-Louis	4,47	83,21	5,80	6,32	83,60	4,78	89,01	6,21	82,45	92	7,296	
Houille demi-grasse.													
Ravemont.	Fosse Saint-Charles	4,06	80,64	5,67	9,63	85,75	4,49	89,23	6,28	84,31	94	7,250	Coke bien formé.
Trienkaisin.	Fosse n° 4, Sebastopol. . . .	4,06	88,64	4,38	2,91	89,40	4,18	91,32	4,50	89,08	97	7,381	Coke à peine formé, non boursouflé.
Sacré-Madame. . . .	Veine petite Sablonnière. . .	4,37	88,34	4,52	2,77	87,55	4,49	90,86	4,65	87,19	95	7,411	
Lodelinsart.	Fosse n° 7.	4,26	86,29	4,41	5,04	87,02	4,39	90,87	4,74	86,33	95	7,387	
Sars-les-Moulins. . .	Fosse n° 7.	4,25	88,69	5,26	1,80	85,57	4,32	90,32	5,36	85,30	94	7,315	
Ardinoises	Fosse Feignat, veine Engin.	4,03	86,02	4,74	5,21	86,66	4,25	90,74	5,01	85,92	94	7,339	
Carabinier-Français.	Veine 8 paumes	3,85	83,90	5,58	6,58	88,50	4,12	89,91	5,97	87,69	97	7,225	
Carabinier-Français.	Veine 11 paumes, fosse n° 2.	4,13	87,85	5,53	2,49	88,15	4,24	90,09	5,67	87,74	97	7,275	
Gouffre.	Fosse n° 3, vieux Gros-Pierre	3,87	83,94	6,20	5,99	88,15	4,13	89,28	6,59	87,40	97	7,166	
Houille maigre.													
Roton.	Veine Greffier.	3,90	84,50	5,10	6,50	87,17	4,17	91,37	5,46	86,34	95	7,284	Coke non formé ou en partie seulement. Le résidu est en poussière ou tombe en poussière au moindre choc.
Pont-de-Loup	Nord.	3,90	89,12	5,61	1,37	89,82	3,96	90,36	5,68	89,67	99	7,231	
Falnuée.	Grande veine.	3,97	89,30	5,13	1,60	88,90	4,03	90,75	5,22	88,72	97	7,295	
Beaulet	Fosse n° 1, veine des Haies.	3,65	90,89	3,98	1,48	91,86	3,70	92,26	4,04	91,74	99	7,358	
Bois d'Heigne	Fosse n° 1, veine des Haies.	3,83	89,22	4,52	2,43	91,35	3,93	91,43	4,64	90,92	99	7,330	

Les houilles grassses ont à peu près la même composition que les houilles grasses du Centre ; leur rendement en vase clos est un peu plus grand, il est plus considérable par conséquent que celui des fines forges de Mons.

Les houilles demi-grasses renferment un peu moins d'hydrogène et un peu plus de carbone que les houilles grasses ; leur rendement en vase clos est plus considérable, leur pouvoir calorifique aussi élevé ; elles ont à peu près la même composition que les houilles demi-grasses du Centre ; seulement la proportion de carbone fixe et par suite le rapport du carbone fixe au carbone total est généralement plus élevé.

Enfin les houilles maigres renferment encore moins d'hydrogène et plus de carbone que les précédentes ; presque tout le carbone est à l'état de carbone fixe ; le pouvoir calorifique est à peu près le même.

Si les houilles grasses et demi-grasses du Centre appartiennent aux mêmes couches que celles de Charleroi, il n'y a donc eu aucun changement important dans leur nature.

En tout cas, on doit ranger dans la même catégorie les houilles grasses du Centre et celles de Charleroi, et les considérer comme des variétes d'une même famille ; il en est de même des charbons demi-gras.

Détermination de l'azote.

Nous avons déterminé l'azote dans trois échantillons de houille de nature différente.

1° *Poirier houille grasse.* — Houille pesant $0^{g},40$.

Titre de l'acide avant l'expérience. . . .		3,35
—	après l'expérience. . . .	3,24
	Différence. . . .	0,11

Équivalent à azote 0,0055, soit. . . . . . . 1,375 p. 100.

2° *Carabinier Français, fosse n° 2, veine Huit-Paumes.* — Houille pesant 0^{g},40.

Titre de l'acide avant l'expérience. . . .	3,35
— après l'expérience. . . .	3,27
Différence. . . .	0,08

Équivalent à azote 0^{g},004, soit . . . . 1 p. 100.

3° *Bois d'Heigne.* — Houille pesant 0^{g},40.

Titre de l'acide avant l'expérience. . . .	3,35
— après l'expérience. . . .	3,31
Différence. . . .	0,04

Équivalent à azote 0^{g}002, soit. . . . . 0,40 p, 100.

L'azote diminue quand on passe des houilles grasses aux houilles maigres.

En résumé, nous avons établi six catégories distinctes de houille :

1° Houilles sèches à longue flamme ;

2° Houilles grasses à longue flamme ;

3° Houilles dures, ou bien houilles grasses maréchales à longue flamme ;

Houilles fines forges, ou bien houilles grasses maréchales à courte flamme ;

5° Houilles demi-grasses ;

6° Houilles maigres.

Chaque catégorie de houille est nettement caractérisée par la composition élémentaire des houilles qu'elle comprend, la proportion du carbone fixe et le rapport du carbone fixe au carbone total ; les couches qui les fournissent forment des groupes distincts et successifs placés constamment dans le même ordre.

La densité des houilles maigres est sensiblement plus élevée que celle des houilles grasses.

IV. Briquettes.

La fabrication des briquettes a pris depuis quelques années un grand développement; dans le bassin de Charleroi on compte plusieurs fabriques de briquettes.

Les charbons menus, maigres ou demi-gras sont mélangés avec du goudron, ou mieux avec le résidu de la distillation du goudron à une température peu élevée, puis façonnés en briquettes et fortement comprimés; tantôt les briquettes subissent une cuisson à la température du rouge sombre (ce qui les durcit davantage), tantôt on les vend sans avoir été cuites.

Nous donnons les analyses de deux briquettes, l'une de Gosselies qui a subi la cuisson, l'autre de Montigny-sur-Sambre qui ne l'a point subie.

1° *Briquette de l'usine de Gosselies* (Charleroi).

Sur un gramme :

	p. 100.		p. 100.
Hydrogène. . . .	4,12,	sous les cendres.	4,36
Carbone.	84,92,	. . . .	89,96
Oxigène et azote.	5,36,	. . . .	5,68
Cendres.	5,60,	. . . .	0,00
	100,00,	. . . .	100,00

Pouvoir calorifique 7,362 calories.

2° *Briquette de l'usine de Montigny-sur-Sambre* (Charleroi).

Sur un gramme :

	p. 100.		p. 100.
Hydrogène. . . .	4,01,	sous les cendres.	4,37
Carbone.	82,74,	. . . .	90,13
Oxygène.	5,05,	. . . .	5,50
Cendres.	8,20,	. . . .	0,00
	100,00,	. . . .	100,00

Pouvoir calorifique 7,289 calories.

On voit que la composition des briquettes est sem-

blable à celle des houilles demi-grasses de Charleroi, ce que l'on doit prévoir puisqu'elles servent à leur fabrication et qu'elles les composent presque entièrement.

V. Bassin de Valenciennes.

Le bassin de Valenciennes commence à peu de distance de Quiévrain et s'étend jusqu'à Douai; il comprend les concessions de Fresnes-Midi, de Vicoigne, d'Anzin, de Douchy, d'Aniche et d'Azincourt; le pendage général des couches est du nord vers le sud, leur direction de l'est-nord à l'ouest-sud.

Les veines sont nombreuses, mais leur puissance est en général plus faible que celle des veines exploitées en Belgique.

La production totale de ce bassin a été en 1856 d'environ 1.900.000 tonnes.

Les houilles maigres se trouvent au nord; au fur et à mesure que l'on avance du nord vers le sud, on trouve les houilles demi-grasses, fines forges, grasses à longue flamme; on ne rencontre point de charbon analogue au charbon flenu sec.

La série entière de toutes les veines de houille se trouve dans les concessions d'Anzin; c'est sur des échantillons provenant de ces veines que nous l'étudierons.

Le tableau suivant donne les résultats de nos analyses.

Bassin de Valenciennes.

Division	Puits	Veines	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène.	Cendres.	Résidu de la calcination.	Déduction faite des cendres: Hydrogène.	Déduction faite des cendres: Carbone.	Déduction faite des cendres: Oxygène.	Déduction faite des cendres: Résidu de la calcination.	Rapport du résidu de la calcination au carbone.	Pouvoir calorifique.	Observations.
Houilles grasses à longues flammes.														
Division de Denain.	Renard	Marck	5,47	82,55	7,68	4,30	66,68	5,72	86,25	8,03	65,18	75	7,247	Coke bien formé, très-boursouflé. (Renard/Marck to Le Bret/2e Nouvelle-Veine, and Division de St-Vaast)
	Renard	Président	5,46	85,54	7,50	1,[illegible]0	67,35	5,54	86,85	7,61	66,85	76	7,268	
	Renard	Marie	5,32	86 39	6 99	1,30	67,50	5,39	87,5[illegible]	7,08	67 07	76	7,300	
	Renard	Paul	5,21	85,66	7,21	1,90	69,62	5,31	87,35	7,31	68,95	78	7,254	
	Orléans	Grande-Veine	5,23	83,28	8,09	3,40	68,82	5,41	86,21	8,38	67,72	78	7,172	
	Napoléon	Veine-Périer	5,53	84,84	6,83	2,80	67,75	5,69	87,28	7,03	66,77	76	7,347	
	Napoléon	Marie-Louise	5,18	87,10	6,82	0,90	70,28	5,23	87,89	6,88	70,01	79	7,296	
	Mathilde	Zoé	5,07	81,12	8,11	5,70	69 09	5,38	86,02	8,10	67,22	78	7,158	
	Ernestine	....	5,09	84,10	6,01	4,80	71,19	5,34	88,34	6,32	69,73	78	7,14[illegible]	
	Jean-Bart	Édouard	4,93	83 85	7,22	4,00	72,07	5,13	87,34	7,53	70,91	81	7,217	
	Le Bret	Nouvelle-Veine	4,9[illegible]	86,34	6,81	1,90	[illegible]	5,05	88,01	6,94	72,30	82	7,263	
	Le Bret	2e Nouvelle-Veine	4,91	87,05	5,04	3,00	74,56	5,06	89,74	5,20	73,77	82	7,438	
Division de St-Vaast.	Davy	Carochon	4,54	81,10	7,86	6,50	71,90	4,85	86,73	9,42	69,94	80	[illegible]	
	Du Temple	Taffin	5,24	85,95	6,31	2,50	72,10	5,37	88,15	6,48	71,38	80	7,[illegible]56	
Houilles grasses maréchales à courte flamme.														
Division de St-Vaast.	Réussite	....	5,03	85,90	6,57	2,50	75,91	5,16	88,10	6,74	76,83	87	7,300	Coke bien formé.
	Grosse-Fosse	....	4,90	86,47	5,53	3,10	77,55	5,06	89,22	5,72	75,29	83	7,387	
	Tinchon	....	4,68	86,73	5,59	3,00	78,08	4,82	89,41	5,77	77,40	86	7,347	
	Ernest	N° 19	4,78	86,15	5,97	3,10	78,90	4,93	88,91	6,16	78,22	86	7,324	
Houilles demi-grasses.														
Division de St-Vaast.	Temple	1re Veine du Nord	4,61	85.98	4,91	4 50	81,58	4,83	90,03	5,14	80,71	89	7,411	Coke formé, peu boursouflé.
	Grosse-Fosse	....	4,41	88,95	3,84	2,80	85,80	4,54	91,50	3,[illegible]6	85,39	93	7,487	Coke formé, à peine boursouflé.
Division d'Anzin.	Chaufour	Grande-Veine	4,35	83,50	6,35	5,80	80,74	4,62	88,64	6,74	79,55	89	7,222	
	La Cave	Rosière	4,81	82,98	6,51	5,70	75,42	5,11	88,00	6,89	73,93	84	7,278	Coke boursouflé, houille grasse.
	Bleuse-Borne	Georges	4,50	87,29	4,81	2,80	85,73	4,83	90,42	4.95	86,32	94	7,401	Coke non boursouflé.
	Saint Louis	Deladie	4,43	89,53	4,54	1,50	86,15	4,50	90,89	4,61	85,93	94	7,415	
	Moulin	Nord	4,15	88,03	4,32	3,50	87,33	4,30	91,72	4,48	86,87	95	7,400	
Houilles maigres.														
Vieux-Condé.	Sarteau	6 paumes	3,83	91.16	3,61	1,40	92,78	3,88	92,46	3,66	90,14	97	7,422	Le coke n'est pas formé. (all four rows)
	Vieille Machine	Veine à sillon	3,51	86,39	4,20	5,90	92,23	3,73	91,81	4,46	91,67	99	7,5[illegible]9	
Fresnes.	Bonnepart	Veine-Toussaint	3,66	90,54	2,70	3,10	92 17	3,78	93,44	2,78	92,95	99	7,463	
	Bonnepart	Grande-Veine	3,49	86,47	3,84	6,20	89,95	3,72	92,18	4,10	89,28	96	7,355	

Les houilles fines forges ont la même composition, le même rendement en vase clos, et le même pouvoir calorifique que celles de Mons.

Les houilles grasses à longue flamme ont leurs similaires parmi les flenus gras à longue flamme et les houilles dures de Mons.

Les houilles demi-grasses ont beaucoup d'analogie avec les houilles demi-grasses du Centre et de Charleroi; leur composition s'en rapproche et la manière dont elles se comportent au feu confirme l'analogie.

Enfin les houilles maigres de Fresnes et de Vieux-Condé se classent après les houilles les plus maigres de Charleroi; lors de la calcination, il n'y a qu'une faible proportion de carbone qui passe parmi les matières volatiles.

Toutes les variétés de houille du bassin de Valenciennes ont un pouvoir calorifique élevé ; c'est parmi les houilles maigres et demi-grasses qu'on trouve les chiffres les plus considérables.

Les résultats de nos essais sur les houilles du bassin de Valenciennes établissent que les couches qui le composent sont les mêmes que celles qui forment les bassins belges.

Ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'à l'exception du flenu, on y trouve réunies toutes les qualités de houilles ; en avançant de l'extrémité sud vers le nord, on trouve :

1° Le groupe des houilles grasses à longue flamme ;

2° Le groupe des veines de houilles grasses maréchales à longue flamme ;

3° Les fines forges, ou bien houille grasse maréchale ;

4° Les veines de houille demi-grasse ;

5° Les houilles maigres.

Le flenu sec est donc la seule espèce de houille qui manque.

Pour montrer les variations de qualités entre les couches qui se succèdent en avançant du sud vers le nord, j'ai analysé quatre échantillons de quatre veines différentes exploitées par la fosse Renard (division de Denain).

La veine Paul est plus au sud que la veine Marck, et cependant elle donne un charbon plus flambant; ainsi la loi d'après laquelle les charbons se rapprochent des charbons maigres au fur et à mesure que l'on avance vers le nord n'est exacte qu'autant qu'on range les veines par groupes; dans un même groupe, lorsqu'on passe d'une veine à celle qui la suit immédiatement, cette loi ne se vérifie plus.

Détermination de l'azote.

J'ai déterminé l'azote dans deux échantillons représentant deux espèces de houille distinctes.

1° *Fosse Renard, Veine Paul.* — Houille pesant $0^g,40$.

	cent. cub.
Titre de l'acide avant l'expérience. . . .	3,35
— après l'expérience. . . .	3,22
Différence. . . .	0,13
Équivalent à azote 0^g00657, soit.	1,64 p. 100.

2° *Fosse Sarteau, Veine Six-Paumes.* — Houille pesant $0^g,40$.

	cent. cub.
Titre de l'acide avant l'expérience pour 5^{cc}.	2,80
après l'expérience.	2,58
Différence. . . .	0,22
Équivalent à azote $0^g,00665$, soit.	1,66 p. 100.

La densité des houilles maigres est plus élevée que celle des autres espèces de houille.

VI. Bassin du Pas-de-Calais.

Le bassin houiller du Pas-de-Calais est le prolongement de celui de Valenciennes; il commence à la limite du Pas-de-Calais et comprend les concessions de l'Escarpelle, Dourges, Courrières, Lens, Bully-Gruai, Noeux, Bruai, Ferfai, Marles et d'autres concessions plus à l'ouest; il se rétrécit au delà de Noeux et semble même disparaître plus loin; on retrouve un lambeau de terrain houiller entre Calais et Boulogne, à Hardinghen et à Ferques.

La direction générale des couches est, comme dans le bassin de Valenciennes, de l'est à l'ouest, leur pendage du nord vers le sud. Au nord du bassin, on trouve les houilles maigres, et en avançant vers le sud, les houilles grasses et flambantes.

Il y a longtemps que les houillères d'Hardinghen et de Ferques sont exploitées; mais la découverte du bassin du Pas-de-Calais proprement dit est toute récente.

Il paraissait évident que le bassin de Valenciennes ne pouvait s'arrêter brusquement dans la concession d'Aniche; mais on n'avait aucune donnée positive sur sa direction à l'ouest; c'est en 1846, d'après les indications de M. Blavier, ingénieur en chef des mines, que la Compagnie de la Scarpe entreprit un sondage vers les limites occidentales de la concession d'Aniche; elle rencontra la houille à 134^{m},00 de profondeur.

Dès lors toute incertitude cessait, une voie nouvelle était ouverte à l'industrie houillère. Bientôt des travaux de recherche habilement dirigés amenèrent la découverte du charbon sur des points nombreux; la Compagnie de Vicoigne, la première, grâce à l'initiative de l'habile ingénieur qui la dirigeait, M. de Bracquemont,

tira de la houille grasse à Noeux, près de Béthune; les limites du bassin furent reconnues par des sondages sagement posés et l'intelligente direction donnée aux travaux de recherche par M. Dusouich d'abord, puis par M. Sens, ingénieurs des mines, évita les dépenses et les mécomptes si fréquents dans de semblables travaux.

Il y a dix ans à peine que le bassin du Pas-de-Calais est découvert; il produit aujourd'hui 300,000 à 400,000 tonnes, et sa production ne peut manquer de prendre en peu d'années un grand développement.

L'exploitation est encore trop récente pour qu'on puisse grouper les couches ainsi que nous l'avons fait dans les autres bassins; c'est à peine si certaines compagies ont commencé leur exploitation.

Nous ne pouvons que constater la nature des charbons; de la comparaison de leur composition avec celle des houilles de Belgique et de Valenciennes, on pourra conclure les divers systèmes de couches de houille que renferme le bassin.

Le tableau qui suit renferme les résultats des analyses de houille que nous avons faites.

Bassin du Pas-de-Calais.

DÉSIGNATION des houilles.	COMPOSITION.					DÉDUCTION faite des cendres.				Rapport du carbone fixe au carbone total.	Pouvoir calorifique.	Observations.
	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Cendres.	Résidu de la calcination.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Carbone fixe.			
Bruai	5,56	79,86	12.38	2,20	62,49	5,68	81,66	12,66	61.64	75	6,787	
Marles.	5,56	79,64	11.00	3,80	62,77	5,78	82,78	11,44	61,29	74	6,920	(a)
Bully	5,82	83,34	7,84	3,00	65.09	6,00	85.92	8,08	64,01	74	7,230	
Billy-Montigny.	5,81	85,36	7,53	1,60	68,16	5,60	86,75	7,65	67,64	77	7,229	
Hersin	5,18	87,00	6 62	1,20	71,55	5,24	88,05	6,71	71,20	80	7,314	(b)
Lens.	5,31	85,68	6.41	2,60	76.85	5,45	87,96	6,59	76,23	86	7 357	
Nœux.	4 98	86,78	5,84	2,40	77,05	5,10	88,91	5,99	76,48	86	7,365	
Henin-Liétard.	5,40	86,34	5,86	2,40	77,64	5,53	88,47	6,00	77.09	87	7.426	(c)
Gayant	4,86	86.89	5,65	2,60	82.49	4,99	89,21	5,80	82,02	91	7,369	
Escarpelle . . .	4,00	90,75	3,58	1,80	89,56	4,07	92,41	3,52	89,34	96	7.462	(d)
Courrières . . .	4,18	82,68	4,54	8,60	87,62	4,57	90,46	4,97	86,45	95	7,396	(e)

(a) Coke boursouflé. — (b) Coke bien formé. — (c) Coke boursouflé, bien formé. — (d) Coke non formé. — (e) Le coke n'est pas formé. Le résidu de la calcination est en poussière.

Les houilles de Bruai, de Marles et de Bully représentent des variétés du flenu ; puis viennent les charbons durs représentés par des échantillons de Billy-Montigny, Hersin, Lens ; Noeux, Hénin-Liétard et Gayant appartiennent aux charbons gras fines forges ; les demi-gras ne sont point représentés. L'Escarpelle et Courrières nous fournissent des échantillons de charbon maigre.

Ainsi l'on trouve dans le Pas-de-Calais le charbon flenu que nous n'avons point trouvé dans le bassin de Valenciennes ; il est à l'extrémité sud du bassin, tandis que les houilles maigres sont au nord ; les charbons gras se trouvent entre eux, ce qui donne lieu de penser qu'on trouvera la même succession de systèmes de couches, maigres, demi-grasses, fines-forges, grasses-maréchales à longue flamme, grasses à longue flamme et peut-être aussi sèches à longue flamme.

Il est curieux de voir que le bassin du Pas-de-Calais renferme toutes les variétés de houille que fournissent les divers bassins belges.

Détermination de l'azote.

J'ai déterminé l'azote dans deux échantillons d'après la méthode ordinaire.

J'ai trouvé :

Brual Azote.	1.875 p. 100.
Noeux Azote.	1.525

Les houilles maigres ont une densité plus élevée que les autres houilles.

VII. HOUILLES D'ANGLETERRE.

Les houilles que l'Angleterre expédie sur le marché de Paris et du nord de la France proviennent du bassin de Newcastle.

On peut évaluer à 400,000 tonnes ce qui est arrivé sur ce marché en 1856.

Nous distinguerons deux variétés principales :

1° Le charbon Hartley, charbon sec, à longue flamme, fumant beaucoup, collant à peine.

2° Les charbons gras, à flamme plus ou moins longue, très-recherchés pour gaz, pour forges et pour le chauffage des chaudières à vapeur.

Le tableau suivant donne le résultat de nos analyses.

Houilles d'Angleterre.

NOMS des houilles.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Cendres.	Matières fixes.	DÉDUCTION faite des cendres. Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Matières fixes.	Rapport.	Pouvoir calorifique.	Observations.
Hartley	5,55	78,35	14,60	1,50	61,54	5,63	79,54	14,83	60,95	76	6,781	(a)
Hunwich	5,51	86,80	5,86	1,83	71,34	5,61	88,42	5,97	70,80	81	7.442	(b)
Byers Green	5,24	85,27	8,49	1,48	72,10	5,32	86,55	8,13	71,68	83	7,186	(b)
Anthracite du Pays de Galles (*)	3,08	92,66	2,66	1,60	92,27	3,13	94,17	2.70	92,14	97	7,407	(c)

(*) On voit que l'anthracite du pays de Galles diffère bien peu par la composition de certaines houilles maigres d'Anzin.

(a) Coke léger, peu boursouflé. — (b) Coke bien formé, boursouflé. — (c) Coke non formé.

Le Hartley se place à côté des flenus les plus secs, non-seulement par sa composition, mais encore par ses usages; les houilles grasses sont analogues aux charbons durs de Denain et de Mons; ils sont plus estimés cependant pour la forge.

Le pouvoir calorifique des houilles Hartley est encore inférieur à celui du flénu de Mons.

Celui des houilles de Hunwich et Byers Green est à peu près le même que celui des houilles grasses à longue flamme.

VIII. Coke.

Le coke que l'on brûle dans les foyers des locomotives et dans les hauts fourneaux est le résidu de la carbonisation des houilles grasses; elle s'effectue généralement dans des fours fermés; la cuisson dure au moins vingt-quatre heures; pour les chemins de fer, on exige une cuisson de quarante-huit heures et même de soixante-douze heures afin que le coke soit plus dur et plus compacte.

Quoique les houilles fines forges soient celles qui donnent le meilleur coke, on emploie, faute de celles-ci, des houilles grasses à longue flamme et des houilles demi-grasses qui se rapprochent le plus des fines forges.

Nous donnons l'analyse complète de deux échantillons de coke pour chemin de fer; ce coke avait été cuit en quarante-huit heures dans des fours à sole chauffée; nous avons desséché les échantillons à une température de 200° avant de les analyser.

Coke.

DÉSIGNATION DU COKE.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Cendres.	DÉDUCTION faite des cendres.			Pouvoir calorifique.
					Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	
Agrappe (Bassin de Mons).	0,33	91,30	2,17	6,20	0,35	97,33	2,32	7,039
Bois du Luc.	0,47	91,59	2,05	5,89	0,50	97,33	2,18	7,080

On voit que le coke n'est pas uniquement composé de carbone et de cendres; il reste toujours une petite quantité d'hydrogène et d'oxygène.

Avant d'introduire le coke dans le tube à combustion, j'avais fait passer un litre de gaz oxygène à travers ce tube et les appareils de condensation; le tube à eau n'avait ni gagné ni perdu; ce que le tube à boules de Liebig avait perdu, le tube témoin l'avait regagné.

Le pouvoir calorifique du coke est sensiblement moins élevé que celui des houilles grasses et demi-grasses; si l'on observe, en outre, qu'il renferme toujours plus de cendres que la grosse houille et qu'il contient généralement 2 à 3 p. 100 d'eau; qu'enfin, sous le même volume, il a un poids deux fois moindre, on reconnaîtra qu'il est, comme combustible, inférieur à celle-ci.

Comme la proportion d'hydrogène et d'oxygène que renferme le coke est très-faible, on peut le regarder comme composé uniquement de carbone et de cendres; il renferme en outre de l'eau.

On peut donc considérer sa valeur comme proportionnelle à la quantité de carbone qu'il renferme; or, celle-ci se détermine :

1° En faisant dessécher un poids donné de coke à une température supérieure à 100°.

2° En incinérant le coke desséché.

La différence entre le poids des cendres et le poids du coke desséché donne la quantité de carbone d'où l'on déduit la proportion de carbone que renferme le coke humide.

Les compagnies de chemin de fer introduisent souvent dans les marchés qu'elles contractent avec les fournisseurs des conditions d'après lesquelles on déduit l'eau que renferme le coke, en sorte qu'on ne paye que le coke sec; de plus, la proportion des cendres ne doit jamais dépasser 8 p. 100; au delà de cette limite le coke est refusé.

L'utilité de la clause relative à la teneur du coke en cendres est évidente; aussi depuis quelques années les fabricants de coke sont-ils arrivés, en lavant la houille, à ne livrer que des cokes contenant de 6 à 7 p. 100.

Tous les cokes que reçoit la Compagnie du Nord sont soumis à des essais réguliers; sur chaque wagon expédié pour cette compagnie, on prend un échantillon de coke dont la teneur en cendre est déterminée; à la fin de l'année on peut établir la moyenne en cendres de tous les cokes livrés.

La moyenne de l'année est généralement comprise entre 6 et 7 p. 100.

L'utilité des essais de dessiccation n'est guère moins

évidente que celle des essais d'incinération; quand l'extinction du coke est bien faite, et que celui-ci est mis à wagon sur le carreau des fours, il n'y a pas plus de 2 à 3 p. 100 d'eau; cependant nous avons trouvé quelquefois dans ces conditions 5 à 6 p. 100 d'eau.

Comme les ouvriers sont payés à la tonne de coke fabriqué, ils ont intérêt à mettre de l'eau pour simuler un rendement plus grand.

La question de l'eau renfermée dans le coke a un grand intérêt pour les chemins de fer, je l'ai étudiée avec quelques détails.

Le coke, au sortir des fours, est parfaitement sec; l'eau qu'il renferme lors de la livraison peut provenir :

1° De l'humidité de l'air;

2° De l'eau introduite lors de l'extinction;

3° De l'eau introduite par la pluie.

Le coke parfaitement sec, mis dans une atmosphère saturée d'humidité, n'absorbe pas plus de 1 à 2°,50 d'eau.

Dans les expériences qui suivent, le coke avait été desséché préalablement à 150°; on plaçait un morceau pesant trois à quatre kilogrammes au dessus d'un vase rempli d'eau que l'on fermait hermétiquement, et on l'y laissait plusieurs jours, jusqu'au moment où son poids n'augmentait plus.

DÉSIGNATION DU COKE.	Poids du coke sec.	Température de l'air.	Proportion d'eau hygrométrique.	OBSERVATIONS.
	k.			
Coke de l'Escouffiaux	2,126	15°	1,364	
Coke du bassin de Mons	3,988	10	0,60	
Coke de l'Agrappe	2,913	12	2,210	
Coke de l'Agrappe (autre échantillon)	2,942	13	0,27	Coke très-dur et serré.
Idem. *idem*	1,945	9	1,28	
Idem. *idem*	3,694	12	0,85	
Coke de Sars-Longchamps	3,142	13	0,54	
Coke de Mons	2,577	11	1,35	

Le coke sec absorbe, quand on le place dans l'eau, une quantité d'eau considérable.

Pour faire l'expérience, on dessèche un morceau de coke à une température de 100° à 200°, puis on le plonge dans l'eau et on l'y laisse vingt-quatre heures; on le retire, et quand il est égoutté on le pèse; la différence des poids, avant et après l'immersion, donne la quantité d'eau absorbée.

Nos d'ordre.	DÉSIGNATION DU COKE.	POIDS du coke sec.	PROPORTION d'eau absorbée.	Température.
1	Agrappe	5,820	22,91	
2	Agrappe (autre échantillon)	4,075	25,88	
3	*Idem.* . . . . . *idem.*	3,966	12,50	
4	*Idem.* . . . . . *idem.*	3,906	38.88	12
5	Jolimet et Rouige	3,895	48,31	
6	Bellevue	5,055	45,74	à
7	Bellevue (autre échantillon)	7,660	38,44	
8	Longterne	3.150	51,11	15
9	*Idem.* . . . . . *idem.*	6,127	31,54	
10	*Idem.* . . . . . *idem.*	4,415	34,36	
11	Coke fabriqué à Boulogne	2,130	48,16	

On voit que le coke peut absorber jusqu'à 51 p. 100 de son poids d'eau.

J'ai exposé à l'air, dans un endroit sec et fermé, des morceaux de coke ainsi recueillis.

	p. 100
L'échantillon n° 1 conservait encore au bout de 45 jours.	14 d'eau.
L'échantillon n° 2, au bout de 16 jours. . . .	13
L'échantillon n° 3, au bout de 16 jours. . . .	5
L'échantillon n° 4, au bout de 13 jours. . . .	9
L'échantillon n° 5, au bout de 38 jours. . . .	4
L'échantillon n° 6, au bout de 34 jours. . . .	9
L'échantillon n° 7, au bout de 45 jours. . . .	15

On voit combien le coke est lent à se dessécher dans un endroit fermé; exposé à l'air libre, surtout à des courants d'air, comme l'est le coke dans les wagons, il

perd rapidement la majeure partie de l'eau qu'il renferme.

Les expériences que nous venons de citer montrent que le coke augmente peu de poids en absorbant de l'humidité, mais qu'il peut s'y introduire directement une grande quantité d'eau, soit lors de l'extinction, soit quand il est exposé à la pluie.

IX. Tourbe.

Les vallées des départements du Pas-de-Calais, de la Somme, de l'Oise et de l'Aisne, renferment presque toutes des bancs de tourbe plus ou moins puissants; l'épaisseur du banc tourbeux dépasse rarement 7 mètres; il est des points où il est recouvert d'une couche épaisse d'alluvion, et où il descend jusqu'à une profondeur de 9 à 10 mètres.

On distingue plusieurs variétés de tourbe :

1° La tourbe noire de première qualité;

2° La tourbe mousseuse;

3° La tourbe grise, compacte ou mousseuse;

4° La tourbe blanche.

D'une variété à la suivante, il y a encore beaucoup de nuances.

En outre, il y a la tourbe au grand louchet, découpée et séchée sans être moulée, et la tourbe au moule.

Les échantillons de tourbe sur lesquels j'ai opéré étaient parfaitement secs; je les avais conservés six mois ou un an dans mon laboratoire avant de les essayer; ils avaient donc perdu toute l'humidité qu'ils étaient susceptibles de perdre par leur exposition à l'air.

J'ai déterminé la perte qu'éprouvait la tourbe :

1° Dans le vide sec;

2° Dans l'étuve à 100°;

3° Dans l'étuve à huile à 200 .

La tourbe subit une décomposition véritable à la température de 100°; ce n'est point de l'eau seulement qu'elle perd; il se dégage des produits carbonés, ainsi que je le prouverai plus loin.

D'après cela, j'ai cru devoir n'opérer que sur des échantillons desséchés dans le vide sec; s'il se dégage autre chose que la vapeur d'eau, c'est en trop faible proportion pour altérer la composition de la tourbe.

Le tableau suivant donne les résultats de la dessiccation dans le vide et dans l'étuve à 100°; lorsqu'on porte la température à 250°, il arrive souvent que la tourbe s'enflamme et qu'il y ait un commencement d'incinération.

DÉSIGNATION DE LA TOURBE.	Perte dans le vide sec.	Perte dans l'étuve à eau à 100°.	Poids des échantillons desséchés.	Observations.
			g.	
Tourbe noire de Bresles (Oise) au petit louchet. . . .	2,17	12,90	7,995	(a)
Tourbe mousseuse de Bresles au petit louchet . . .	3,14	15,31	6,832	(b)
Tourbe noire de Thésy, 1re qualité, au moule. . . .	6,37	16.00	1,631	
Tourbe grise mousseuse de Thésy, 3e qualité, au moule.	7,20	16,74	1,069	
Tourbe noire de Bourdou, 1re qualité, au louchet. . .	5,55	17,32	1,062	
Tourbe noire de Camon. 1re qualité, au grand louchet.	5,59	19,52	1,859	
Remiencourt, tourbe blanche	1,81	6,73	1,485	

(a) Cette tourbe est très-dure et très-compacte.
(b) Quoique mousseuse, cette tourbe est de bonne qualité.

On voit que la perte à 100° est de 12 à 20 p. 100, sauf pour la tourbe blanche qui renferme beaucoup de terre; dans le vide elle est bien moindre et varie de 2,17 p. 100 à 7,20 p. 100.

Tous les essais qui suivent ont été faits sur des échantillons desséchés préalablement dans le vide sec pendant vingt-quatre heures.

Tourbe.

DÉSIGNATION de la tourbe.	Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Cendres.	Résidu de la calcination.	DÉDUCTION faite des cendres — Hydrogène.	Carbone.	Oxygène et azote.	Résidu de la calcination.	Rapport du résidu de la calcination au carbone total.	Pouvoir calorifique.	Observations.
Tourbe de Bresles noire, 1re qualité	7,16	47,78	36,06	9,00	38,62	7,86	52,51	39,63	32,54	61	4,423	(*)
Tourbe de Bresles mousseuse, 2e qualité	5,65	46,80	41,15	6,40	39,43	6,28	51,86	41,86	35,28	68	3,973	
Tourbe noire de Thésy au moule, 1re qualité	5,76	50,67	36,87	6,70	36,95	6,17	54,31	39,52	32,42	59	4,189	
Tourbe noire de Thésy mousseuse, 2e qualité, au grand louchet	5,79	43,65	36,66	14,00	40,04	6,73	50,75	42,52	30,27	59	3,873	
Tourbe noire de Bourdon, 1re qualité, au grand louchet	6,01	47,69	39,30	7,00	37,85	6,46	51,28	42,26	33,17	64	3,969	
Tourbe noire de Camon, 1re qualité, au grand louchet	5,99	46,11	38,50	9,40	38,11	6,61	50,89	42,50	31,63	62	3,958	
Remiencourt : — tourbe blanche	2,22	12,99	19,71	65,08	72,57	6,36	37,20	56,44	21,44	57	2,259	

(*) Le résidu de la calcination reste en poussière ou s'agglutine à peine. Pour avoir du charbon de tourbe, il faut laisser celle-ci en morceaux : ceux-ci conservent la forme de la tourbe, mais diminuent beaucoup de volume par la calcination.

Toutes les analyses de tourbe ont été faites sur 1 gramme de matière.

Après l'opération, la capsule contenant les cendres était pesée, puis reportée dans la moufle d'un fourneau de coupelles; on notait ensuite la perte qu'elle avait éprouvée, et le poids qui la représentait était ajouté au poids de l'acide carbonique recueilli. En effet, comme la tourbe ne fait point effervescence avec les acides, nous admettrons avec M. Regnault que la chaux qui n'est point combinée avec l'acide sulfurique est combinée avec un acide organique tel que l'acide ulmique; l'acide carbonique qu'elle retient encore après l'analyse provient donc de la combustion du carbone et doit s'ajouter à celui qui a été recueilli.

L'acide sulfurique préexiste dans la tourbe; car

quand on traite celle-ci par l'acide hydrochlorique bouillant, on extrait une liqueur qui donne un précipité avec le chlorure de barium.

Le fer paraît être à l'état de sulfure; il reste dans les cendres à l'état d'oxyde; de là, une légère erreur dans les résultats de l'analyse.

Les tourbes renferment une quantité considérable d'oxygène; les plus pures en renferment de 39 à 40 pour 100; la proportion d'hydrogène est un peu plus élevée que dans la houille, mais la proportion de carbone beaucoup plus faible; aussi le pouvoir calorifique est-il bien moins élevé.

En tenant compte des cendres et de l'eau que renferme la tourbe, on trouve qu'elle donne environ moitié moins de calories que les houilles grasses et demi-grasses.

J'ai déterminé la proportion d'azote dans deux échantillons de tourbe d'après la méthode ordinaire.

J'ai trouvé :

Tourbe de Camou desséchée dans le vide. . .	2,625 p. 100.
Tourbe de Thésy, première qualité, desséchée dans le vide.	1,92 p. 100.

La tourbe renferme deux fois plus d'azote environ que la houille.

J'ai recherché si, en desséchant la tourbe à 120°, et même à 200°, ce qui réduit de beaucoup son poids, on n'aurait pas un combustible plus riche en carbone et en hydrogène et présentant par conséquent un pouvoir calorifique plus élevé.

1° *Tourbe de Thésy. — Première qualité.*

J'ai opéré sur la tourbe de Thésy desséchée à 120°; la tourbe avait été desséchée d'abord dans le vide, puis portée dans l'étuve; elle avait subi une nouvelle perte de 11,89 p. 100; en totalité, 17,10 p. 100.

L'analyse m'a donné :

Hydrogène. . .	4,87,	déduction des cendres	5,25
Carbone. . . .	54,56,	. . . .	58,86
Oxygène. . . .	33,27,	. . . .	35,89
Cendres.	7,30,	. . . .	0,00
	100,00,	. . . .	100,00

Pouvoir calorifique 4,346.

Si par la dessiccation à 120° il ne s'était dégagé que de l'eau, la tourbe aurait dû présenter la composition suivante :

Hydrogène.	5,05
Carbone.	57,50
Oxygène.	29,85
Cendres.	7,60
	100,00

On voit qu'il s'est dégagé de l'hydrogène et du carbone, éléments de production de chaleur, et que la quantité d'oxygène qui s'est dégagée est insuffisante pour former de l'eau avec l'hydrogène parti ; il y a donc eu décomposition.

Le pouvoir calorifique a augmenté, mais dans une faible proportion.

2° EXPÉRIENCE. — *Tourbe noire de Bourdon* (1re qualité).

La tourbe a été desséchée à 200° dans l'étuve à huile sans qu'elle brûlât. La perte dans le vide était 5,55 p. 100, dans l'étuve à 100° 17,32 p. 100, et dans l'étuve à 200° 24,57 p. 100.

L'analyse faite sur 1 gramme a donné :

Hydrogène. . .	4,59,	déduction des cendres	5,04
Carbone.	56,32,	. . . .	61,83
Oxygène.	30,17,	. . . .	33,13
Cendres.	8,92,	. . . .	0,00
	100,00,	. . . .	100,00

Le pouvoir calorifique était de 4,661.

Si la perte qu'a éprouvée la tourbe en passant du vide sec dans l'étuve à 200°, laquelle est de 20,14 p. 100, eût consisté uniquement en eau, la tourbe aurait eu la composition suivante :

Hydrogène	4,72
Carbone	59,72
Oxygène	26,79
Cendres	8,77
	100,00

Il s'est dégagé une proportion d'hydrogène plus que suffisante pour former de l'eau avec l'oxygène qui est parti ; il y a eu aussi perte de carbone.

Donc, la tourbe avait subi un commencement de décomposition.

Il résulte de ces expériences que par la dessiccation de la tourbe on obtient un combustible dont le pouvoir calorifique est plus élevé, mais on perd aussi des éléments propres à la production de la chaleur ; le pouvoir calorifique ne s'accroît pas dans une proportion égale à la perte de poids subie par le combustible ; en pratique, il doit y avoir avantage à dessécher la tourbe à une température d'environ 100°, car on est sûr de la débarrasser ainsi de toute humidité ; mais il est douteux qu'il y ait avantage à opérer la dessiccation à une température plus élevée (1).

(1) Le pouvoir calorifique des tourbes de première qualité, telles qu'on les emploie soit pour le chauffage domestique, soit pour les usages industriels, n'est guère que de 3.500 calories ; c'est à peu près la moitié de celui des bonnes houilles tout venant que l'industrie consomme ; d'autre part la tourbe donne lieu à beaucoup de déchet, occupe beaucoup de place, et exige de grands magasins ; il ne saurait donc y avoir avantage à l'employer pour le chauffage des chaudières à vapeur qu'autant qu'à poids égal elle coûterait moitié moins que la houille mélangée.

Dans la Somme, la houille mélangée coûte 26 fr. à 30 fr. les 1.000 kilog. rendue à l'usine, la tourbe de première qualité

X. Résumé.

Nous avons étudié les divers combustibles que l'on rencontre sur les marchés de Paris et du nord de la France : houille, briquettes, coke et tourbe ; la composition élémentaire de ces divers combustibles a été établie, leur pouvoir calorifique déterminé.

Ce sont des données utiles à l'industriel.

Nous avons suivi, pour l'étude des houilles de Belgique et du nord de la France, la classification généralement adoptée ; cette classification repose sur les usages industriels des houilles, notamment sur la propriété qu'elles possèdent de coller plus ou moins bien ou de ne pas coller sous l'action de la chaleur ; de là les dénominations de houilles grasses, demi-grasses, etc., qui sont assez vagues en elles-mêmes et laissent une certaine confusion.

Nous avons montré que la propriété que la houille possède de s'agglutiner sous l'action de la chaleur tient à la présence d'un principe gras que lui enlève complétement une température de 200 à 250°, et, pour certaines variétés, la simple exposition à l'air.

Il n'est certainement point rationnel d'établir une

---

13 fr. à 15 fr. ; aussi n'est elle qu'exceptionnellement employée aux usages industriels.

A Bresles (Oise), la tourbe revient à peine à 10 fr. les 1.000 kilog., tandis que la houille coûte 28 fr. à 29 fr. ; aussi la fabrique de sucre établie dans cette localité ne consomme guère que de la tourbe.

On peut poser en principe qu'il n'y a avantage à brûler de la tourbe pour le chauffage des chaudières à vapeur qu'autant qu'à poids égal, la tourbe coûte moitié moins que la houille tout venant.

Cette règle, qui est la conséquence de nos analyses, se trouve confirmée d'une manière remarquable par les faits que nous avons cités.

classification d'après une seule propriété des houilles, ou l'abondance plus ou moins grande d'un principe qu'elles renferment, quelque important qu'en soit le rôle. Pour être naturelle, une classification doit reposer sur l'ensemble des propriétés des corps, et dépendre de leur composition et de la manière dont les éléments sont combinés entre eux.

Les analyses que nous avons faites ont l'avantage d'établir bien clairement les caractères des divisions que l'on peut adopter parmi les houilles, et de montrer que la classification qui repose sur leur composition concorde avec celle qu'indiquent leur gisement et l'ensemble de leurs propriétés.

Nous avons d'abord trois catégories bien distinctes et bien nettement caractérisées :

1° Les houilles maigres ;

2° Les houilles fines forges, ou grasses maréchales à courte flamme ;

3° Les houilles à longue flamme.

Nous avons trouvé :

I. Dans les houilles maigres :

Proportion d'hydrogène	3,92 à	4,17
— Carbone	90,36 à	93,44
— Oxygène et azote	2,78 à	5,68
— Carbone fixe	89,28 à	93,25

II. Dans les houilles grasses :

Hydrogène	4,68 à	5,11
Carbone	87,30 à	90,49
Oxygène et azote	4,73 à	7,55
Carbone fixe	74,36 à	83,86

III. Dans les houilles à longue flamme :

Hydrogène	5,21 à	5,80
Carbone	83,33 à	85,27
Oxygène et azote	9,87 à	11,01
Carbone fixe	61,01 à	66,37

La proportion d'hydrogène, qui n'atteint que 4,20 p. 100 dans les houilles maigres, est toujours supérieure à 4,60 p. 100 dans les houilles grasses et inférieure à 5,11 p. 100; dans les houilles flenu elle est comprise entre 5,21 et 5,80 p. 100.

La proportion de carbone et celle d'oxygène et d'azote distinguent nettement les flenus des houilles grasses, mais pas toujours les houilles grasses des houilles maigres; mais si l'on examine la proportion de carbone fixe, tout doute disparaît; c'est là un des éléments qui caractérisent le mieux chaque catégorie.

La manière dont ces trois espèces de houille se comportent au feu, le gisement des veines qui les produisent, les distinguent aussi parfaitement.

Entre les houilles grasses et les houilles maigres viennent se placer, par leur composition comme par leurs propriétés, les houilles demi-grasses de Charleroi, du Centre et d'Anzin, qui forment autant de variétés dans une même famille.

Par leur position géologique, c'est aussi la place qu'elles occupent; on trouve constamment les couches de houilles demi-grasses entre celles de houilles grasses et de houilles maigres.

Les houilles flenu se divisent en deux classes, houilles sèches à longue flamme et houiles grasses à longue flamme; leur composition est peu différente; c'est surtout la présence du principe gras qui motive cette distinction.

Les houilles grasses à longue flamme se rapprochent cependant davantage des houilles grasses maréchales; dans le bassin de Mons, où ces diverses houilles se rencontrent, leur gisement est intermédiaire; cela paraît avoir lieu également dans le Pas-de-Calais; enfin, entre les houilles grasses à longue flamme et les

houilles grasses maréchales à courte flamme, se placent, tant par leur composition que par leur gisement et leurs propriétés, les houilles dures, ou bien houilles grasses à longue flamme.

Ainsi, les houilles de Belgique et du nord de la France peuvent être classées de la manière suivante :

1° Houilles maigres ;

2° Houilles demi-grasses ;

3° Houilles grasses maréchales à courte flamme ;

4° Houilles dures ou grasses maréchales à longue flamme ;

5° Houilles grasses à longue flamme ;

6° Houilles sèches à longue flamme.

Cette classification est rationnelle ; car elle repose sur la composition élémentaire des houilles, le gisement des couches qui les fournissent et l'ensemble de leurs propriétés dans les arts.

S'étend-elle à toute espèce de houille et de toute provenance ? nous ne pouvons le dire. Elle comprend probablement un grand nombre de houilles de divers bassins ; mais on ne pourra affirmer qu'elle est générale qu'après qu'on aura fait sur les houilles des principaux bassins connus des recherches analogues à celles auxquelles nous nous sommes livré sur les bassins houillers de Belgique et du nord de la France.

Il nous reste, pour les compléter, à étudier les produits que l'on obtient lorsqu'on soumet les houilles à l'action des dissolvants et à celle de la chaleur ; nous trouverons très-probablement dans ces études une nouvelle confirmation des analogies que nous avons établies et de la classification que nous avons adoptée.

Densités.

Compagnies.	Densité.	Température.
MONS.		
Haut flenu	1 258	12°0
Levant du flenu	1,293	12,8
Agrappe 5 paumes	1,261	13,2
Grand Buisson	1,255	13,6
Bellevue	1,275	13,8
Sainte-Hortense	1,272	17,4
Bellevue	1,240	24,6
CENTRE.		
Mariemont gras	1,298	13,8
Mariemont demi-gras	1,309	16,2
Bois du Luc gras	1,255	17,2
Mariemont maigre	1,291	18,0
Mariemont maigre	1,304	18,0
CHARLEROI.		
Gouffre gros-pierre	1,031	11,0
Bois d'Huyne	1,031	9,0
Bayemont demi-gras	1,296	17,3
Falnuée	1,274	18,0
Poirier gras	1,278	18,2
VALENCIENNES.		
Ernestine-Denain	1,233	17,4
Grosse fosse St.-Waast	1,249	18,7
Chaufour anzin	1,261	19,0
Renard. Marck Denain	1,274	19,0
Réussite St.-Waast	1,270	16,0
La cave anzin	1,311	18,0
VALENCIENNES.		
Vieille machine maigre Vieux-Condé	1,393	15°6
Bonnepart Grande veine Fresnes	1,325	16,2
Bonnepart. Toussaint Fresnes	1,362	22,4
PAS-DE-CALAIS.		
Hersin Liétard gras	1,269	18,0
Hersin gras	1,258	19,1
Courrières maigre	1,348	17,8
Nœux gras	1,268	16,6
Billy Montigny	1,257	18,3
ANGLETERRE.		
Hunwick	1,270	18,0
Hartley	1,254	19,1
Byers Green	1,266	21,4
Anthracite du pays de Galles	1,396	17,4
TOURBE.		
Bourdon	1,147	20,2
Thésy, première qualité	0,946	20,0
Thesy mousseux	0,388	20,5
Bresles mousseux	0,839	21,0
Bresles première qualité	1,070	18,6
Camon	1,139	17,8
Rimiencourt	0,904	20,5

Essais de dessiccation.

NOMS DES COMPAGNIES.	Vide.	100°	250°
Bassin de Mons.			
Haut flénu de Mons	0,92	1,88	3,51
Midi du flénu maigre	0,58	1,16	2,08
Sainte-Hortense	0,62	1,12	0,76
Bellevue	0,15	0,60	0,26
Couchant du flénu	»	»	2,34
Agrappe, grande Céreuse	0,33	1,10	0,26
Agrappe, 5 paumes	0,05	0,98	0,92
Bassin du Centre.			
La Louvière, maigre fosse n° 1	0,92	0,98	»
La Louvière gras, fosse Saint-Hubert	0,84	0,84	»
Braquegnies demi-gras, fosse Sorcière	0,55	0,77	»
Braquegnies gras, fosse Occident	0,46	0,54	»
Houssu gras, fosse Grande-Veine	0,67	1,18	»
Houssu maigre, fosse Olive	0,75	1,23	»
Bascoup gras, fosse n° 3	0,11	1,38	0,55
Bois du Luc gras. Emmanuel	0,21	0,98	0,33
Mariemont maigre, 100 bonniers	0,17	0,94	0,35
Bois du Luc maigre, Saint-Charles	0,45	1,01	1,17
Mariemont demi-gras, Mélanie	0,50	1,07	0,85
Sars-Longchamps maigre, fosse n° 3	0,34	0,88	0,23
Mariemont gras, fosse Sainte-Cécile	0,29	0,95	0,45
Sars-Lonchamps gras, Caroline	0,48	1,05	0,22
Bascoup maigre, Victoire	0	0,71	0,16
Haine Saint-Pierre gras, Adolphe	0,26	0,82	0,20
Haine Saint-Pierre maigre, Émile	0,36	0,80	0,08
Bassin de Charleroi.			
Bayemont	0,85	1,09	(*a*)
Bois d'Hugin	0,99	1,35	0,30
Ardinoises	1,02	1,32	0,12
Bayemont	0,85	1,09	(*b*)
Pont-de-Loup	1,08	1,13	0,54
Sars-les-Moulins	0,74	1,22	(*c*)
Carabinier-Français, 8 paumes	0,81	1,51	»
Tricukaisin demi-gras, Sébastopol	0,59	1,17	»
Sacré-Madame, à la Sablonnière	0,72	1,19	»
Gouffre n° 3. demi-gras	0,54	0,88	»
Lodelinsart, demi-gras	0,52	1,18	»
Carabinier-Français, 11 paumes	1,11	1,54	»
Bayemont demi-gras, Saint-Charles	0,75	1,11	»
Marcinelle nord, gras	0,89	1,33	»
Tricukaisin gras, 10 paumes	0,68	1,02	»
Poirier gras, Saint-Louis	0,69	0,79	0,32
Saint-Martin	0,48	0,95	0,21
Roton	»	»	1,34
Bassin de Valenciennes.			
Bonne-Part maigre, Fresnes	1,05	1,84	»
Bonne-Part Toussaint maigre	1,42	1,69	»
Vieille-Machine, Vieux-Condé	1,63	2,13	»
Sarteau maigre, Vieux-Condé	1,32	1,55	»
Moulin-Anzin	0,66	1,38	»
Saint-Louis n° 4, Anzin	0,80	1,20	»
Bleuse, Borne, Georges, Anzin	0,86	1,61	»
La Cave, Rosières, Anzin	1,32	1,74	»
Chaufour, Anzin	0,69	0,82	»
Dutemple, Saint-Waast	1,01	1,38	»
Grosse-Fosse, Saint-Waast	0,80	1,38	»

(*a*), (*b*), (*c*) Augmentation de poids.

NOMS DES COMPAGNIES.	Vide.	100°	250°
			»
Davy, Saint-Waast	1,28	1,79	»
Cuichon, Saint-Waast	1,10	2,02	»
Dutemple, Saint-Waast	1,20	1,60	»
Ernest n° 19	1,06	1,53	»
Réussite, Saint-Waast	1,40	1,69	»
Grosse-Fosse, Saint-Waast	0,83	1,47	»
Mathilde, Denain	1,07	1,50	»
Orléans, Denain	0,90	1,36	»
Renard, Marck, Denain	1,20	1,60	»
Renard, Président, Denain	1,07	1,97	»
Napoléon, Denain	1,38	1,94	»
Bassin de Newcastle.			
Hunwick	0,77	1,90	»
Byers-Green	0,96	2,01	»
Anthracite du Pays de Galles	3,51	4,51	»
Briquettes.			
MM. Dehaynin	0,44	1,41	»
Gosselies	0,96	1,54	»
Tourbe.			
Remiencourt	1,81	6,73	11,68
Camon	5,59	19,52	27,59
Bourdon	5,64	17,32	21,93
Thésy, 1re qualité	6,37	16,00	»
Thésy, mousseuse	7,20	16,74	58.93
Bresles, mousseuse	3,14	15,31	»
Bresles, tourbe noire	2,17	12,90	35,58
Pas de-Calais.			
Courrières maigre	0,79	1,17	»
Henin-Liétard gras	0,57	1,23	»
Hersin gras	0,52	1,33	»
Nœux gras	0,37	1,05	»
Billy-Montigny	0,46	1,46	»
Lens	0,67	1,37	»

MÉTAMORPHISME DES ROCHES.

Par M. DELESSE.

(*Suite.**)

ROCHES ARGILEUSES.

Le métamorphisme que les roches argileuses ont éprouvé au contact des roches trappéennes, est plus complexe que celui qui a été étudié jusqu'ici. On peut d'ailleurs s'en rendre compte facilement; car leur composition est moins simple, et, par conséquent, une plus grande variété d'éléments se trouvent en présence.

Les roches argileuses qu'il me suffira de distinguer sont les suivantes :

1° Les argiles proprement dites, c'est-à-dire les hydrosilicates d'alumine.

2° Les roches que Kirwan et M. Cordier ont nommées argilithes, M. Brongniart argiles schisteuses, M. Naumann *schieferthon* et Jameson *claystone*. Elles ont à peu près l'apparence des argiles, mais elles en diffèrent complétement, en ce qu'elles sont lithoïdes, dures, peu ou point plastiques. J'ai constaté, en outre, qu'elles renferment des alcalis.

3° Les marnes qui sont formées d'un mélange d'argile ou d'argilithe avec une certaine proportion de carbonate de chaux ou de dolomie.

4° Les roches clastiques qui proviennent de débris des roches feldspathiques. Elles se rapprochent de ces dernières par leur composition et par plusieurs de leurs caractères; mais, d'un autre côté, elles se rapprochent aussi des roches argileuses par leur origine aqueuse et

* Voir *Annales des mines*, 5° série, t. XII, p. 89.

sédimentaire; elles ont, d'ailleurs, été métamorphosées de la même manière : il convient donc de les réunir aux roches argileuses.

La marche suivie sera la même que précédemment. Je signalerai d'abord les minéraux qui se sont habituellement développés dans les roches argileuses métamorphiques; puis j'étudierai les principales altérations qu'elles ont éprouvées dans leur structure.

§ 106. *Altération nulle ou très-faible.* — Les roches argileuses sont très-faciles à modifier, et cependant, au contact de roches trappéennes, leur altération peut être nulle ou très-faible.

Constatons d'abord ce fait par quelques exemples, et pour cela reportons-nous à la Chaussée des Géants.

Nappe de trapp et Argile. **Chaussée des Géants.** — Nous avons vu que le lignite intercalé dans le trapp est supporté par de l'argile (Pl. IV, *fig.* 6). Ainsi que l'a fait remarquer Sir Charles Lyell, cette argile doit être considérée comme la terre végétale sur laquelle sont venus les végétaux qui ont produit le lignite. Elle s'est déposée à un moment où la nappe de trapp était émergée. Elle est, d'ailleurs, analogue au lit d'argile qu'on trouve habituellement sous les couches de houille, dans lequel il existe encore des racines de plantes et notamment des stigmaria.

A la Chaussée des Géants, l'argile qui supporte le lignite est gris bleuâtre. Quand elle a été exposée à l'air, elle devient rouge ou brune et elle tache les doigts. En l'examinant à la loupe, on voit qu'elle contient une multitude de fragments très-fins provenant de roches trappéennes plus ou moins décomposées. De plus, elle est dure et non plastique. Elle fait une effervescence lente et très-légère dans l'acide chlorhydrique. mais elle renferme seulement... 0,38 d'acide carbonique. Toutefois, il s'y trouve un peu de carbonate de fer, dont la présence n'est pas inutile à constater, puisqu'on sait qu'il existe aussi dans les couches d'argile du

terrain houiller. Le résidu non attaqué par l'acide chlorhydrique est de... 45,20. Quand on la calcine, elle éprouve une perte très-considérable qui est de... 28,20; elle devient alors brune, et elle se fritte même dans certaines parties.

Il est visible qu'elle n'a jamais été soumise à l'action de la chaleur; par conséquent nous avons ici une preuve nouvelle que la nappe de trapp est arrivée froide; car elle n'a modifié ni le lignite qu'elle recouvre ni l'argile sous-jacente.

Magheragall. — A Magheragall, environ à 10 milles de Belfast, M. Mac Adam m'a signalé une argile qui est interposée entre la craie et le trapp. Nappe de Trapp et Argile.

Elle forme, dans le sud du comté d'Antrim, une couche atteignant 2 mètres d'épaisseur; elle est recouverte, d'ailleurs, par l'argile rouge à silex qui n'a guère que 0m,40, et au-dessus on rencontre immédiatement le trapp. Elle contient une multitude de fragments très-légers, et elle passe à un conglomérat. On y observe aussi des empreintes végétales noires, et même de petites veines de lignite.

Cette argile est gris bleuâtre. Elle renferme 9,90 d'eau. Elle devient blanc jaunâtre par calcination. Il est visible encore qu'elle n'a pas subi antérieurement l'action de la chaleur. Elle ne me paraît pas différer de l'argile grise qui enveloppe généralement les silex roulés, et qui est interposée entre la craie et le trapp. Cette argile renferme, d'après M. Apjohn :

Silice.	50,75
Alumine	20,87
Oxyde de fer.	15,90
Chaux	0,72
Eau.	10,50
Somme.	98,74

C'est donc une argile ferrugineuse, et on en trouve fréquemment de semblables dans les roches trappéennes ou bien à leur contact.

— Si maintenant nous considérons des roches trappéennes, non plus en nappes, mais en filons, il arrive souvent qu'elles n'ont pas métamorphosé les roches argileuses, quand bien même ces dernières y sont empâtées. C'est ce qui a lieu notamment pour la diorite et quelquefois même pour le basalte.

En voici des exemples :

Diorite et schiste.

Bagnères. — Aux environs de Bagnères de Bigorre, la diorite se trouve quelquefois en contact avec un schiste. Or, à la Bassère, où ce schiste s'exploite comme ardoise, M. Viquesnel a constaté qu'il n'a éprouvé aucune altération près de la diorite.

Amphibolithe et Schiste serpentineux.

Esquiou. — Dans les Pyrénées, à l'est du plateau connu sous le nom de plaine de l'Esquiou, une amphibolithe (ophite) traverse des schistes et des calcaires dont elle empâte des fragments de toute grosseur.

Cette amphibolithe contient quelquefois des veines d'épidote et de quartz, ainsi que des cristaux de fer oligiste spéculaire. J'en ai examiné un échantillon qui empâtait un fragment encore adhérent de schiste. Elle avait une couleur blanc verdâtre, et elle était très-feldspathique. Sa perte au feu était de... 2,90. Elle était aussi légèrement caverneuse, et renfermait un peu de chaux carbonatée, ainsi que de la chlorite

Quant au schiste, il formait un fragment anguleux vert noirâtre. Son éclat était un peu gras et le faisait ressembler à de la serpentine. Il ne contenait pas de carbonates, mais... 11,20 p. 100 d'eau. Par calcination, il s'est fritté dans certaines parties. On y distinguait des grains de quartz et quelques veinules de chlorite.

Il est bien visible que quand l'amphibolithe a empâté

ce schiste serpentineux, elle n'était pas à une température élevée; car le schiste qui se trouvait dans une roche caverneuse aurait nécessairement perdu son eau, et il se serait fritté ou bien il présenterait quelque trace d'une forte chaleur.

Trapp et Serpentine.

Port Dafreth.— Quoique la serpentine n'appartienne pas aux roches argileuses, elle y passe quelquefois et elle contient comme ces roches une forte proportion d'eau : c'est à ce titre qu'il convient d'examiner ici son métamorphisme. Or, il peut être très-faible : en effet, à Port-Dafreth, dans l'île d'Anglesey, M. Henslow a constaté que la serpentine traversée par le trapp est à peine altérée à son contact. Un fragment qui s'y trouve empâté a seulement pris l'aspect d'une argile de couleur sombre (1).

La serpentine est une roche de composition simple et qui s'altère facilement par la chaleur : il serait donc très-intéressant d'étudier, dans d'autres gisements, quel est le métamorphisme qui s'est produit quand elle se trouve en contact avec des roches éruptives. Les faits qui viennent d'être signalés au contact de la serpentine et du schiste serpentineux montrent, d'ailleurs, que la roche trappéenne n'a pas été injectée à l'état de fusion ignée.

Phonolithe et Roche argileuse.

Auvergne.— Dans le ravin du Liénard, un phonolithe recouvre une roche argileuse provenant de la décomposition de laves scoriacées avec lesquelles elle alterne. Ce phonolithe est tacheté et se divise en sphéroïdes; il contient 4,35 p. 100 d'eau. Quant à la roche argileuse, elle est rouge et un peu celluleuse. Sa perte au feu s'élève à 13 p. 100, et l'altération qu'elle a éprouvée paraît être fort légère.

---

(1) *Transactions of the Cambridge philosophical Society*, t. I, p. 419.

Basalte et Schiste argileux ou Grauwake.

Altebirke. — A la mine Altebirke, le basalte n'a pas altéré sensiblement la grauwake, non plus que le schiste argileux. Une légère décoloration s'observe bien au contact, mais ordinairement elle ne s'étend pas au delà de quelques centimètres (1). Nulle part, d'ailleurs, on n'a constaté d'une manière authentique des traces de fusion, ni même l'action d'une température élevée. Il est d'autant plus intéressant de signaler cette innocuité du basalte à l'égard des roches argileuses que, dans la même mine, il a converti le minerai de fer en un oxyde magnétique (§ 39).

On pourrait multiplier beaucoup ces exemples; mais il nous suffira de constater que dans les roches argileuses, de même que dans toutes les roches qui encaissent les trapps, l'altération est souvent nulle ou très-faible.

—Voyons maintenant quels sont les minéraux qui se développent habituellement dans les roches argileuses métamorphosées par les roches trappéennes.

§ 107. *Carbonates.*

— Les carbonates sont assez accidentels, et, comme précédemment, ils paraissent provenir de la roche trappéenne elle-même.

On comprend, en effet, que la roche argileuse puisse être imprégnée par la chaux carbonatée, la dolomie, le fer carbonaté et, en un mot, par tous les carbonates qui se trouvent dans la roche trappéenne.

Fer carbonaté.

On y observe assez souvent du fer carbonaté, et la mine Altebirke va nous en offrir un exemple.

Car, à l'endroit de cette mine qu'on nomme Strakebirke, la grauwake qui est en contact avec le basalte est pénétrée par du fer carbonaté fibreux (sphærosidérite). Ce minéral y forme même des veinules. On a re-

(1) Schmidt. *Kasten und von Dechen Archiv.*, t. XXII, p. 181.

marqué que c'est surtout lorsque la roche argileuse a pris une couleur verte qu'elle a été imprégnée de fer carbonaté.

Quand une roche argileuse contenait originairement du calcaire, elle peut d'ailleurs en perdre une partie, comme nous le démontrerons bientôt.

D'un autre côté, son calcaire devient quelquefois cristallin. Le plus souvent il passe à l'état de chaux carbonatée grenue ou spathique; ses cristaux remplissent notamment les cavités des roches argileuses qui prennent par le métamorphisme une structure celluleuse (§ 120).

Arragonite. Quelquefois encore le calcaire se change en arragonite. Tantôt cette arragonite forme des cristaux isolés dans les marnes (§ 75); tantôt, au contraire, elle tapisse les cellules des roches argileuses métamorphiques (§ 120).

§ 108. *Oxyde de fer.* — L'oxyde de fer doit encore être mentionné spécialement parmi les minéraux, qui se montrent dans les roches argileuses en contact avec les roches trappéennes. Je prendrai comme exemple les Pyrénées, où il est associé à un grand nombre d'autres minéraux métamorphiques.

Ophite et Roches argileuses. **Pyrénées.** — L'ophite des Pyrénées a fait subir aux roches argileuses des métamorphoses qui ne sont pas moins intéressantes à étudier que celles éprouvées par les calcaires et par le gypse (p. 196 et 223). Ces métamorphoses ont été décrites récemment par MM. Crouzet et de Freycinet (1). Elles s'observent autour des nombreux pitons d'ophite qui se sont fait jour au pied de la chaîne des Pyrénées : on peut citer notamment les Landes, le bassin de l'Adour, les vallées de Baigorry, de l'Ariége, du Sallat, de Castillon, de Campan, de Gistain. Elles

(1) *Annales des mines*, 5e série, t. V, p. 361.

sont surtout bien évidentes quand l'ophite a traversé les marnes de l'étage gypso-salifère.

L'action de l'ophite est accusée par des altérations dans la structure et par le développement de minéraux; ce sont ces minéraux que je vais signaler ici et parmi eux l'oxyde de fer est le plus caractéristique. Il imprègne si généralement l'argile au contact de l'ophite, que Charpentier a nommé cette argile ferrugineuse. Le fer s'y trouve d'ailleurs à l'état de fer spéculaire et aussi de

Fer oligiste.

fer oligiste pailleté (*eisenrahm*). Il forme, soit des lamelles disséminées dans la roche argileuse, soit des veines irrégulières qui pénètrent ses fragments. Il tapisse également ses cavités, surtout dans les brèches,

Hydroxyde de fer.

au contact de l'ophite. Il est accompagné d'hydroxyde de fer et d'ocre, qui contribuent surtout à donner aux roches argileuses métamorphiques leurs couleurs bariolées.

L'oxyde de fer est très-abondant au contact de l'ophite à Bastennes, Brassempouy, Saint-Pandaléon, Anhaux, Suzenac (1). Il n'est du reste pas limité aux roches argileuses; on se rappelle qu'on le trouve aussi dans les calcaires et quelquefois même dans le gypse (§ 66, 77).

Les roches argileuses en contact avec l'ophite renferment du reste d'autres minéraux que l'oxyde de fer. Ainsi, elles sont quelquefois imprégnées de chlorite. Cette chlorite est en petites écailles, tantôt blanche ou vert clair, tantôt vert noirâtre. Elle s'observe notamment dans les roches argileuses pénétrées d'oxyde de fer, qui séparent l'ophite du calcaire au pont de Pouzac.

Les roches marneuses et métamorphiques de l'étage gypso-salifère sont encore fréquemment traversées par des veines réticulées de carbonates spathiques. C'est

(1) De Charpentier. *Essai sur les Pyrénées*, p. 507.

aussi ce que nous avons vu dans les calcaires, et ces carbonates proviennent évidemment de la roche encaissante.

De plus elles contiennent quelquefois des cristaux disséminés d'arragonite qui, comme dans le gypse, sont associés à du quartz bipyramidé. C'est au moins ce que l'on observe à Bastennes où l'arragonite et le quartz se montrent dans la marne qui accompagne le gypse (1). Comme l'arragonite se produit lorsqu'il y a une élévation de température, il est très-vraisemblable que son développement dans les marnes et dans le gypse doit être attribué à une intervention de la chaleur.

— Il arrive quelquefois que la silice imprègne les roches argileuses voisines des roches trappéennes. C'est ce que j'ai constaté dans un gisement intéressant que j'ai visité avec M. Th. Andrews. § 109. *Quartz.* Amphibolithe et Schiste.

Au pied des montagnes du Mourne, à Ballagh, à 2 milles au sud de Newcastle, en Irlande, un dyke d'amphibolithe (*greenstone*) traverse un schiste argileux. Sa puissance est environ de 10 mètres. Sa direction mesurée sur la salebande qui est à gauche, lorsqu'on regarde la mer, est Nord 40° Ouest.

L'amphibolithe a une couleur verte uniforme; elle est très-tenace; elle présente des nodules celluleux qui sont allongés parallèlement à la direction du filon. C'est dans ces nodules qu'on trouve le minéral auquel Thomson a donné le nom de kirwanite; il y est entouré par de l'épidote et du quartz.

Le schiste argileux (*slate*) est redressé sur sa tranche qui se dirige N. 80° E. Il renferme du mica. Sa couleur est vert blanchâtre ou vert foncé. Jusqu'à une certaine distance du dyke d'amphibolithe, il est veiné et jaspé. De plus, il est traversé par une multitude de filets de

(1) Palassou. *Mémoires*, etc., p. 251.

quartz hyalin. Quelquefois aussi il contient de l'épidote.

Ce schiste métamorphique a pris une couleur blanche. Sa perte au feu est de 0,60 et sa densité de 2,541 : il est complétement imprégné de quartz. On l'a nommé porcelanite ; mais, c'est à tort, car il n'a pas les caractères de la véritable porcelanite que je décrirai bientôt. En outre, s'il est incontestable qu'il ait été altéré, il est visible aussi que ce n'est pas par une action ignée. Il a seulement été imprégné par de la silice. Je ferai remarquer, d'ailleurs, que la silicification n'a pas été produite par l'amphibolithe elle-même, mais bien par des infiltrations siliceuses qui ont accompagné sans doute l'éruption du dyke. Ces infiltrations ont pénétré le schiste et elles ont rempli ses fissures, surtout parallèlement à la stratification ; en même temps elles ont tapissé les cellules de l'amphibolithe avec du quartz et de l'épidote.

La silicification de la roche encaissante, qu'on regarde comme très-fréquente au contact des roches trappéennes, y est au contraire très-accidentelle. Elle est même, jusqu'à un certain point, indépendante de ces roches ; car elle est due à des filons spéciaux dans lesquels domine la silice. Toutefois elle accompagne de préférence les roches éruptives qui sont elles-mêmes riches en silice, telles que les diorites parmi les roches trappéennes. On verra d'ailleurs qu'elle s'est produite surtout, au contact des roches granitiques qui sont les plus riches en silice.

§ 110. *Argile ferrugineuse.* Basalte et Argile prismatique.

— On devait s'attendre à trouver l'argile ferrugineuse (bol) dans les fissures des roches argileuses recouvertes par le basalte. Et, en effet, M. de Léonhard a signalé sa présence près d'Ettingshausen, au pied du Vogelsgebirge ; elle remplit les interstices de l'argile plastique devenue prismatique. On reconnaîtra plus loin

qu'elle a le même gisement au Puy et au Meissner, dans des roches argileuses et prismatiques recouvertes par le basalte (§ 118).

— La terre verte qui a déjà été signalée dans la roche encaissante, quand elle est calcaire ou siliceuse, s'y retrouve surtout quand elle est argileuse. Il est rare, cependant, qu'elle soit bien caractérisée; mais on observe souvent au contact des roches trappéennes des roches argileuses qui ont été verdies et dans lesquelles il s'est développé des substances qui paraissent avoir la plus grande analogie avec la terre verte. § 111. *Roches argileuses verdies.*

Je vais d'abord étudier ces roches argileuses verdies. Elles sont essentiellement à base d'argilithe et non pas d'argile. Quelquefois d'ailleurs elles peuvent contenir du calcaire et je commence même par examiner une marne verdie que j'ai observée dans les environs de Belfast.

Springfield. — A Springfield, sur les bords du Forth-River, les marnes du *New-red-Sandstone* sont traversées sur plusieurs points par du trapp. La Pl. V, *fig.* 7 nous montre l'un de ces gisements qui est très-intéressant. *Marne verdie.* Trapp et Marne.

Un gros filon de trapp, ayant 4 à 5 de puissance, vient couper les marnes obliquement. Ce filon se voit très-bien dans un escarpement près du cours d'eau qu'on nomme le Forth. Sa direction est N. quelques degrés E. Son pendage est à peu près de 60° vers l'E.; sur certains points, il est de 90°. Il se divise en sphéroïdes; cependant, près de ses bords, il est aussi schistoïde et il présente un clivage parallèle à ses épontes.

La limite du trapp et des marnes est très-nette; mais près du contact, le trapp devient moins cristallin et moins feldspathique.

Les marnes du *New-red-Sandstone* sont schisteuses

et très-argileuses. Le gypse n'y forme pas des veines, comme dans le gisement de Springfield, qui a été décrit antérieurement (p. 223) ; mais il les imprègne et y produit de petites efflorescences blanches, surtout près du contact du trapp. Ces efflorescences tapissent aussi les fissures du trapp. Les marnes, qui ont une couleur rouge lie de vin, prennent une couleur verte à peu près jusqu'à $0^m,40$ du contact du trapp.

Globules ferrugineux. — On observe dans les marnes de petits globules ferrugineux. Ces globules sont arrondis, et leur diamètre est au plus de quelques millimètres. Ils ont une couleur brun jaunâtre qu'ils doivent à de l'hydroxyde de fer. Ils se séparent aisément des marnes, et j'ai constaté qu'ils sont formés par une argile très-fine, mélangée d'oxyde et de carbonate de fer. Leur perte au feu est de 15,00; elle est due à un dégagement d'eau et d'acide carbonique qui est combiné à l'état de carbonate de fer. Quand on les fait bouillir avec l'acide chlorhydrique, ils laissent un résidu considérable qui est de 68,18.

Les globules ferrugineux s'observent en grande quantité dans la marne qui est au voisinage du trapp; on pourrait donc être tenté d'attribuer leur formation au trapp lui-même. Mais il faut remarquer que des globules semblables se rencontrent dans les argiles qui ne sont pas traversées par des roches éruptives. Il y en a notamment à la partie supérieure de l'argile plastique à Issy, près de Paris.

J'ai constaté d'ailleurs que ces globules d'Issy éprouvent une perte au feu de 32 p. 100, et qu'ils laissent dans l'acide chlorhydrique un résidu argileux pesant 9,74. Ils sont formés de fer carbonaté argileux. A la grosseur près, ces globules ferrugineux sont comparables aux sphéroïdes de fer carbonaté qu'on trouve

dans les couches du terrain houiller, et ils doivent avoir la même origine.

— J'ai fait des essais comparatifs de la marne rouge et de la marne verdie, afin d'apprécier les modifications qui ont accompagné la couleur verte.

Marne rouge. — La marne rouge a été prise à 0m.40 du trapp. Elle est rouge, un peu brunâtre et très-argileuse. Sa densité est 2,562.

Marne verdie. — La marne verdie a été prise au contact immédiat du trapp et sur le prolongement même de la couche à laquelle appartenait la marne rouge. Elle a une couleur vert pâle un peu grisâtre. Elle est plus compacte que la marne rouge, mais elle est cependant restée argileuse. Elle redevient rouge quand on la calcine ou bien quand elle a été altérée par l'action de l'air. Sa densité 2,432 est inférieure à celle de la marne rouge.

Lorsqu'on fait bouillir ces marnes avec de l'acide chlorhydrique, elles s'attaquent partiellement et elles laissent un résidu blanc jaunâtre formé d'argilithe et de silice. Le tableau suivant indique les proportions des bases qui se dissolvent dans cette opération :

	Marne rouge.	*Marne verdie.*
Résidu insoluble et Silice	66,60	65,58
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie.	20,78	22,70
Chaux	3,25	3,07
Soude	1,13	0,67
Potasse	0,58	0,52
Eau.	7,22	6,12
Acide carbonique	2,08	1,78
	101,64	100,44

Il est facile de voir que la marne verdie a été modifiée très-légèrement et que sa composition diffère à peine de celle de la marne rouge.

Je remarquerai cependant qu'elle contient un peu moins d'eau et d'acide carbonique. En outre, son effervescence est plus lente, ce qui indique qu'elle renferme surtout du carbonate de fer et de magnésie. Il m'a paru aussi qu'elle contient un peu plus de magnésie. Enfin, elle s'attaque plus facilement par l'acide chlorhydrique.

En résumé, la couleur verte de la marne au contact du trapp provient d'une altération très-légère et doit sans doute être attribuée à ce que son oxyde de fer est entré en combinaison avec la silice.

Je considère maintenant des roches argileuses dures ou argilithes qui ne sont pas calcaires et qui ont également pris une couleur verte près du trapp.

Argilithe verdie.

Trapp et Argilithe.

Scrabo. — La carrière de Scrabo, dont j'ai donné le croquis précédemment, nous montre deux petites couches d'argilithe qui sont traversées par le trapp (Pl. IV, *fig.* 25).

Argilithe rouge. — L'argilithe de Scrabo est intercalée dans le grès. Elle a une couleur rouge violacée. Elle n'est pas plastique, mais au contraire dure, schistoïde et compacte. On y distingue beaucoup de paillettes de mica et quelques grains de quartz. Sa densité est 2,579. Elle contient 5,4 d'eau. On n'y trouve pas de carbonates. Elle prend une couleur rouge-brique par calcination. Quand on la traite par l'acide chlorhydrique, elle laisse un résidu pesant 91,24.

Au contact immédiat du trapp, l'argilithe a pris une couleur verte. Toutefois cela n'a eu lieu qu'à une petite distance et la couleur verte se montre surtout suivant des veines réticulées qui paraissent correspondre à des fissures. Voici quels sont les caractères de l'argilithe verdie.

Argilithe verdie. — Elle est très-compacte, dure et sonore. Sa cassure est esquilleuse et même pétro-siliceuse.

Sa densité... 2,817 est notablement plus élevée que celle de l'argilithe normale. Cette augmentation de densité tient en partie à ce que l'argilithe verdie est intimement pénétrée par le trapp qui y forme une multitude de veines et de nodules.

J'ai trouvé qu'elle renferme... 1,10 d'acide carbonique qui fait une effervescence très-lente et qui est à l'état de carbonate de fer. Il y a aussi... 7,21 d'eau : cette quantité est bien supérieure à celle de l'argilithe rouge ; par conséquent, non-seulement le trapp n'a pas fait perdre à l'argilithe la quantité d'eau qu'elle contenait, mais il l'a même augmentée d'un tiers.

Quand on traite par l'acide chlorhydrique l'argilithe verdie, elle laisse un résidu pesant 93,38, qui est un peu supérieur à celui de l'argilithe rouge.

La métamorphisme de l'argilithe de Scrabo a eu lieu seulement au contact immédiat du trapp. Il résulte d'une pénétration de l'argilithe par le trapp et par des substances qui ont accompagné son éruption, notamment par le carbonate de fer et de magnésie. A une petite distance, l'argilithe passe d'ailleurs du vert au brun verdâtre, puis au rouge violacé.

— Lorsque les roches argileuses ont une couleur rouge, elles la perdent généralement au contact du trapp. Elles prennent alors une couleur verte, et dans un métamorphisme spécial que nous étudierons bientôt, leur couleur devient noire, violette ou bleuâtre. Ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est que leur oxyde de fer ne disparaît pas. On se rappelle, du reste, qu'il en est de même pour le grès rouge décoloré par le trapp. Dans le métamorphisme qui a produit les roches argileuses verdies, l'oxyde de fer a sans doute été réduit. En tout cas, il est entré en combinaison dans des silicates. Ces silicates n'ont pas ordinairement une com- § 112. *Terre verte.*

position définie; toutefois, lorsqu'une roche argileuse a pris la couleur verte, il est vraisemblable qu'il s'est formé un hydro-silicate à base d'alumine, de fer, de magnésie et d'alcalis qui présente la composition de la terre verte. Cette terre verte se retrouve d'ailleurs dans le trapp lui-même, qui est la cause bien évidente du métamorphisme; dans quelques gisements elle est même cristalline et parfaitement bien caractérisée : c'est ce qui a lieu pour celui de Cushendall, duquel je vais parler maintenant.

Trapp et Argilithe.

Cushendall. — Dans la carrière de Cushendall déjà décrite antérieurement, l'argilithe forme des couches minces intercalées dans le grès (Pl. V, *fig.* 1).

Cette argilithe a été verdie jusqu'à une distance de quelques mètres du trapp, et l'on y distingue des petits grains de terre verte qui y sont disséminés. Le métamorphisme que cette roche a subi au contact immédiat du trapp est d'ailleurs très-énergique, car elle est devenue compacte et très-dure. Sa cassure est esquilleuse et grasse comme celle du pétrosilex; toutefois, on y distingue encore les zones qui résultent de la stratification.

Elle fait, dans l'acide chlorhydrique, une effervescence très-lente, indiquant qu'elle est très-légèrement imprégnée de carbonate à base de fer. Quand on la met en digestion avec l'acide, elle se décolore et on voit qu'elle n'est plus mélangée d'oxyde rouge de fer : il est probable qu'une partie de cet oxyde se sera combinée avec l'acide carbonique et que l'autre sera entrée dans la composition de la terre verte. Quelquefois l'argilithe est traversée par des veines de chaux carbonatée spathique. Elle présente avec le trapp une certaine ressemblance qui disparaît avec la couleur verte et à mesure qu'on s'éloigne du filon.

Afin d'apprécier le métamorphisme produit, il m'a

paru utile d'examiner quelques échantillons d'argilithe que j'avais pris en me rapprochant successivement du trapp.

Argilithe verdie de Cushendall.

I. Vert-grisâtre, encore argileuse, mais compacte et déjà imprégnée par une multitude de paillettes microscopiques de terre verte.

II. Vert-noirâtre, très-lithoïde, à cassure esquilleuse.

III. Vert foncé, à cassure esquilleuse et grasse comme celle du pétrosilex.

	Densité.	*Acide carbonique.*	*Eau.*	*Perte au feu.*
I. . . .	2,396 . . .	0,35 . . .	11,52 . . .	11,87
II. . . .	2,600 . . .	0,40 . . .	3,85 . . .	4,25
III. . . .	2,796 . . .	0,25 . . .	3,15 . . .	3,40

Il est facile de voir que l'argilithe imprégnée de terre verte est d'autant plus métamorphosée qu'elle est plus rapprochée du trapp. Elle devient insensiblement plus pétrosiliceuse. En outre, sa densité augmente successivement, tandis que sa proportion d'eau diminue et se réduit à quelques centièmes près du contact.

On se rappelle que pour le grès de Cushendall la proportion d'eau diminue également près du trapp (p. 263); mais dans le gisement de Scrabo, dans lequel le grès et l'argilithe ont pris tous deux une couleur verte, c'est l'inverse qui a lieu et la quantité d'eau augmente au contraire près du trapp (p. 244, 245 et 430). Il me paraît que cette différence tient à ce que le métamorphisme est beaucoup plus énergique à Cushendall qu'à Scrabo; mais, quoi qu'il en soit, il est bon de constater que quand des roches ont pris la couleur verte au contact du trapp, le métamorphisme qu'elles ont éprouvé peut être assez complexe.

§ 113. *Zéolithes et minéraux associés.* — Les roches argileuses sont très-compactes, on comprend donc qu'elles ne doivent pas se laisser pénétrer aussi facilement par les zéolithes que des roches poreuses comme les grès.

Cependant, elles peuvent encore être imprégnées par les zéolithes; c'est ce qui a lieu surtout quand elles sont brisées ou fissurées : alors, les zéolithes et les minéraux qui leur sont associés cristallisent dans leurs interstices et réunissent toutes leurs parties par un ciment. En même temps ces roches deviennent dures, esquilleuses, lithoïdes, et elles peuvent même passer à une sorte de jaspe. Portrush nous en offrira un bel exemple.

Des roches clastiques sont fréquemment associées à toutes les roches trappéennes : elles sont essentiellement formées de leurs débris et par conséquent elles sont en partie feldspathiques. D'un autre côté, quand leurs fragments sont petits et décomposés, elles passent insensiblement aux roches argileuses et de plus, elles sont métamorphosées de la même manière; aussi convient-il d'étudier leur métamorphisme en même temps que celui de ces dernières roches. Or, comme elles sont clastiques, elles sont extrêmement poreuses, et par suite il est aisé de comprendre que les zéolithes puissent s'y développer avec la plus grande facilité.

C'est surtout dans toutes les régions volcaniques que ces roches clastiques sont fréquentes. Elles donnent lieu à des tufs, des péperites, des brèches et des conglomérats qui jouent un rôle très-important dans la géologie des volcans. Par cela même que ces roches se trouvent dans le voisinage des feux souterrains, elles ont souvent été métamorphosées. Leur métamorphisme a eu lieu non-seulement au contact immédiat de la roche éruptive, mais même jusqu'à une assez grande distance; car elles sont très-poreuses et, comme l'a fait

observer M. Bunsen, elles se laissent facilement pénétrer par l'eau, par la vapeur et par les gaz qui accompagnent les éruptions volcaniques. Il en résulte même qu'il est quelquefois assez difficile de préciser quelle est la roche éruptive qui a produit le métamorphisme.

Dans les exemples que je vais décrire maintenant, certaines roches éruptives ont été considérées comme des laves, mais elles n'ont pas donné lieu à une fusion ignée des roches clastiques qu'elles ont métamorphosées; elles ont au contraire produit des effets qui ne diffèrent pas de ceux qu'on observe au contact du trapp et du basalte. J'ai pensé d'après cela que ce métamorphisme des laves ne devait pas être séparé de celui des roches trappéennes (§ 36).

J'observerai d'ailleurs que les zéolithes qui se sont développées dans les roches argileuses métamorphiques sont fréquemment accompagnées par des substances minérales variées; il sera donc nécessaire de mentionner ces substances pour chaque gisement.

Stilbite. Basalte et Grauwake schisteuse.

Ile Kerrera. — Dans l'île Kerrera, le docteur Mac Culloch a trouvé de la stilbite rouge qui était disséminée dans une grauwake schisteuse près de son contact avec un filon de basalte (1).

Analcime. Roche volcanique et Argile.

Iles Cyclopes. — Sir Charles Lyell a observé dans la plus grande des îles Cyclopes un dyke de roche volcanique qui pénètre en forme de coin dans une argile (2). Cette roche volcanique contient des amandes de chaux carbonatée et de l'analcime. Elle a fortement altéré l'argile qui est à son contact; elle l'a rendue lithoïde et même prismatique. Mais ce qu'il importe

(1) Boué. *Voyage en Écosse*, p. 290.

(2) *Manuel de géologie élémentaire*, 5e édit., t. II, p. 321, *fig.* 662.

surtout de remarquer ici, c'est que l'analcime s'est développée jusque dans les fissures de l'argile métamorphique.

Basalte et Tufs.

Eisenach. — Aux environs d'Eisenach, notamment à Pflasterkaute et à Kupferberg, MM. de Leonhard et Boué ont signalé le grand développement de tufs provenant des débris de roches basaltiques (1). Ces tufs sont complétement imprégnés par des zéolithes qui les ont cimentés. De la chaux carbonatée accompagne généralement ces zéolithes.

— C'est surtout en Auvergne qu'il existe de nombreux gisements dans lesquels des roches volcaniques clastiques ont été imprégnées par des zéolithes associées à divers minéraux. Ces gisements ont pour la plupart été décrits par MM. Lecoq et Bouillet.

Mésotype.

Basalte et Pépérite.

Puy de la Piquette. — On connaît déjà le Puy de la Piquette : c'est une éminence formée par une pépérite qui est traversée par des filons de basalte (Pl. IV, *fig.* 4).

Ce basalte se termine en coin ; par suite, s'il était accompagné de substances pouvant se répandre dans la roche encaissante, ces substances ont dû se concentrer surtout vers la partie supérieure des filons où elles ne trouvaient plus d'issue. Aussi est-il facile d'expliquer pourquoi la pépérite du Puy de la Piquette est complétement imprégnée de mésotype au voisinage des filons de basalte. Cette mésotype forme même des lamelles disséminées dans toute la masse ; elle est d'ailleurs accompagnée de chaux carbonatée et même d'apophyllite.

Quant à la pépérite, elle a une couleur grise, bleuâtre ou verdâtre. Sa densité est... 2,23. Elle renferme des fragments de basalte, des scories, du pyroxène, de

---

(1) *Geognostiche Gemælde von Deutschland* herausgegeben, von C.C. von Leonhard, p. 539.

l'amphibole; sa composition est donc très-complexe (1).

Calcaire siliceux. Basalte et Pépérite.

Vertaizon. — La pépérite basaltique de Vertaizon est cimentée de même par de la mésotype accompagnée d'arragonite et d'hydroxyde de fer. Elle est de plus traversée par des filons quelquefois très-considérables de calcaire siliceux (2).

Quartz résinite. Basalte et Pépérite calcaire.

Gergovia. — La montagne de Gergovia offre surtout un très-bel exemple du métamorphisme des roches clastiques (3). En effet, vers sa partie supérieure elle présente une pépérite calcaire qui est traversée obliquement par des filons de basalte (Pl. V, *fig.* 12). Cette péperite a été fortement métamorphosée; elle a pris une structure celluleuse, et elle a été imprégnée par divers minéraux. C'est seulement de ce dernier métamorphisme que je vais m'occuper ici.

— Il est bon de faire connaître d'abord le basalte de Gergovia : il est noirâtre, compacte, à éclat lustré. On y distingue très-bien des grains de péridot. Il se fritte quand on le calcine, et sa perte au feu est alors de... 4,67.

La péperite calcaire appartient au terrain d'eau douce. Elle contient des débris de diverses roches et même des grains de quartz et de feldspath. Son ciment est calcaire. Elle a une couleur blanche ou verdâtre.

Au voisinage du basalte, cette péperite devient brune ou noirâtre, et en même temps lithoïde et celluleuse. Elle est alors imprégnée par divers minéraux qui tapissent ses cellules. Ces minéraux sont : la stilbite, la mésotype, la chaux carbonatée, l'arragonite, la calcédoine.

---

(1) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes des principales formations géologiques du Puy-de-Dôme*, p. 21.

(2) *Idem*, p. 43.

(3) *Idem*, p. 126. — Sir Charles Lyell. *Manual of geology*, 5e ed., p. 559-560.

Elle est surtout pénétrée par des filons ou des veines irrégulières de calcaire siliceux. Ce calcaire a une couleur gris-brunâtre foncée, une texture compacte, une cassure conchoïde.

Lorsqu'il devient très-siliceux, il passe à un quartz résinite ayant un éclat très-vif, une couleur noire, blanche, verte, brune ou veinée de diverses nuances. J'ai calciné un échantillon vert blanchâtre qui était traversé par quelques veines de calcédoine; il renfermait... 5,50 d'eau. Ce quartz résinite est donc une opale grossière.

A la surface des fragments calcinés, j'ai remarqué, d'ailleurs, des ampoules microscopiques provenant sans doute de la fusion de zéolithes qui se sont développées jusque dans le quartz résinite.

Le calcaire siliceux et le quartz résinite qui est souvent stalactiforme ont évidemment une origine aqueuse. Il est très-vraisemblable qu'ils ont été déposés par des eaux chargées de substances minérales qui ont accompagné ou suivi les éruptions volcaniques.

Bitume et Rétinasphalte.

— L'Auvergne offre d'ailleurs un grand nombre de gisements semblables à ceux qui viennent d'être décrits.

Dans quelques-uns, indépendamment des minéraux qui viennent d'être mentionnés, il y a aussi du bitume et du rétinasphalte.

Chlorure de fer.

Enfin, à Gergovia, l'on a même observé du chlorure de fer (1).

Zéolithes au voisinage des volcans en activité.

— Le développement des zéolithes a surtout lieu sur une très-grande échelle au voisinage des volcans en activité.

M. Bunsen a déjà signalé dans d'importants travaux la généralité et la fréquence de ce phénomène en Islande,

---

(1) Burat. *Description des terrains volcaniques de la France centrale*, p. 301.

ainsi que dans d'autres régions volcaniques; il n'est donc pas nécessaire de nous y arrêter plus longtemps(1).

— En résumé, constatons que les zéolithes se sont développées fréquemment dans les roches argileuses et surtout dans les roches clastiques. Ces minéraux s'observent non-seulement au voisinage des laves, mais encore au contact et au voisinage des roches trappéennes. Ils ne sont pas limités au contact immédiat; ils peuvent, au contraire, imprégner la roche encaissante jusqu'à une grande distance. Ils se montrent spécialement près des roches trappéennes qui, comme les basaltes, sont elles-mêmes riches en zéolithes.

Les roches clastiques cimentées par les zéolithes et les minéraux qui les accompagnent jouent, à l'égard des roches trappéennes, le même rôle que l'arkose à l'égard des roches granitiques. En effet, l'arkose est formée par les débris de roches granitiques; de plus, elle est cimentée par de la silice et par les minéraux des gîtes métallifères.

Que si l'on cherche maintenant l'origine de ces zéolithes et des minéraux qui leur sont associés, il est facile de reconnaître qu'elle est essentiellement aqueuse. Leur fréquence dans les roches volcaniques montre, il est vrai, que la chaleur est favorable à leur développement; mais nous avons déjà reconnu à différentes reprises que la formation des zéolithes peut avoir lieu à une température peu élevée.

§ 114. *Silicates.*

— Les roches argileuses renfermant souvent du calcaire, il était probable qu'on trouverait, près de leur contact avec les roches trappéennes, des silicates à base de chaux et de magnésie, tels que le grenat, l'épidote, l'hornblende, etc. (§ 70.)

---

(1) Bunsen. *Poggendorff Ann.*, t. LXXXIII, p. 197. *Ueber die Processe der vulkanischen Gesteinsbildungen Islands.*

Grenat.
Dolérite et Schiste calcaire.

Plas-Newydd. — Dans l'île d'Anglesey, Plas-Newydd nous en offre un exemple remarquable qui a été décrit par le professeur Henslow (1). En effet, une dolérite forme un énorme filon ayant 45 mètres de largeur, et traverse des couches de schiste et de calcaire argileux qu'elle a altérées jusqu'à une distance de plus de 10 mètres. A mesure qu'on s'approche de la dolérite, le schiste devient de plus en plus compacte, et près du contact il est fortement endurci. C'est à peine si l'on peut encore y distinguer la structure schisteuse. Dans quelques places, il a même été changé en une sorte de jaspe porcelanite ayant des couleurs variées. Les productus et les fossiles qu'il renfermait ont généralement disparu.

Le schiste calcaire a éprouvé des changements analogues. Près du dyke, il perd la structure terreuse et son calcaire est très-cristallin.

Mais ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est que le schiste métamorphique devient d'abord globuleux et qu'il s'y développe peu à peu un grand nombre de cristaux de grenat. Ce grenat est très-calcaire, car il ne contient pas moins de 20 p. 100 de chaux. Il est accompagné d'un hydrosilicate qui paraît être de l'analcime, et par conséquent, en même temps que le grenat, il peut aussi se former des zéolithes. On comprend d'ailleurs que la température nécessaire au développement de ces minéraux n'était pas nécessairement très-élevée; elle était, en tous cas, bien inférieure à celle de la fusion du schiste, car des brochiopodes se trouvent jusque dans l'intérieur des globules et des cristaux.

Basalte et Schiste calcaire.

Vallée de la Tees. — Vers le haut de la vallée de la Tees, le professeur Sedgwick a également observé du

(1) *Transact. of the Cambridge Phil. Soc.*, t. I; Sir Charles Lyell. *Manual of elementary geology*, 5e éd., p. 484.—J. Phillips. *Treatise on geology*, t. II, p. 102.

grenat dans un schiste calcaire métamorphique et près de son contact avec le basalte (1).

— Les faits qui précèdent sont très-intéressants; ils montrent, en effet, que le grenat peut résulter de l'action de roches trappéennes sur un schiste calcaire. Ils montrent en outre que du grenat et des zéolithes se développent quelquefois dans une même roche métamorphique. Du reste, si la formation du grenat indique un métamorphisme plus énergique que ceux que nous avons étudiés jusqu'à présent, elle n'exige cependant pas une fusion ignée.

Épidote. Amphibolithe et schiste.

— L'épidote se rencontre accidentellement dans les roches argileuses qui encaissent les roches trappéennes. Elle forme des filons, des veines et des nodules, dans lesquels elle est généralement accompagnée par le quartz. C'est ce qu'on a pu apprécier par le gisement de Ballagh qui a déjà été décrit (p. 425).

Hornblende. Diorite et Schiste.

— L'hornblende s'est fréquemment développée, non-seulement dans les roches calcaires, mais encore dans les roches argileuses qui sont en contact avec les diorites. Ainsi, dans le midi de la Bretagne et dans la Vendée, les diorites sont souvent associées à des schistes amphiboliques (2). Il en est de même dans les Vosges. Cependant, lorsque de l'hornblende s'est développée au contact d'une roche amphibolique, il y a généralement passage à la roche encaissante; c'est d'ailleurs ce qui s'observe chaque fois qu'il s'est formé l'un des minéraux constituants de la roche éruptive.

§ 115. *Minéraux des gîtes métallifères.* Trapps et Roches argileuses.

— Je signalerai encore d'une manière spéciale l'existence des minéraux des gîtes métallifères dans les roches argileuses métamorphosées par le trapp.

Dans le pays de Galles, par exemple, la coupe de Sta-

(1) *Transactions of the Cambridge Phil. soc.*, t. II, p. 175.
(2) Durocher. *Bulletin de la soc. géol.*, 2e série, t. III, p. 592.

peley Hill, que j'emprunte à sir Roderick Murchison, montre bien des filons métallifères qui sont voisins du contact de la roche trappéenne (Pl. V, *fig.* 5).

Ces relations de gisement s'observent d'ailleurs, non-seulement dans le pays de Galles, mais encore dans un grand nombre d'autres contrées.

Les filons métallifères sont même à peu près indépendants de la nature de la roche encaissante. Ils se rattachent, au contraire, à l'éruption des roches trappéennes dont ils sont les compagnons assez habituels.

La formation de ces filons métallifères doit visiblement être attribuée surtout à une action aqueuse. Il n'est donc pas étonnant que les diverses roches métamorphosées au contact des trapps et pénétrées elles-mêmes par des filons métallifères, aient éprouvé des métamorphoses dans lesquelles le rôle principal appartienne aussi à l'action aqueuse.

— Jusqu'à présent je me suis occupé du métamorphisme que les roches trappéennes ont fait subir aux roches argileuses, lorsqu'il est caractérisé par le développement de minéraux cristallisés et bien définis. Toutefois, le plus souvent on n'en observe pas. Et cependant les roches argileuses ont éprouvé des changements variés et très-complexes dans leurs propriétés physiques ou même dans leur composition chimique. Elles peuvent alors passer par une foule d'états, indéfinissables en réalité, mais qui sont néanmoins assez bien caractérisés par la structure; il est nécessaire de les passer successivement en revue.

— Je remarque d'abord que les roches argileuses sont souvent modifiées dans leur structure en grand. En effet, au contact des roches trappéennes, elles se divisent en parallélipipèdes, en sphéroïdes, en prismes : elles prennent une structure pseudorégulière, sphéroïdale

ou prismatique. Leur métamorphisme est bien évident et il ne peut être attribué qu'à la roche trappéenne; il importe donc de l'étudier avec soin.

Islande. — A Virki, en Islande, les couches de tuf contenant le lignite (*surturbrandur*) sont recouvertes par du basalte et par une lave péridotique (p. 148). § 116. *Structure pseudorégulière.* Roche volcanique et Tuf.

Ce tuf est formé de débris généralement très-fins de roches volcaniques et on y observe souvent des empreintes végétales. Il a une couleur vert noirâtre ou noire. Il a certainement été métamorphosé; car ses grains ont été cimentés; il est devenu compacte, pierreux, fragile. Il se divise même en parallélipipèdes et il a pris une structure pseudorégulière. Or, j'ai constaté qu'il renferme jusqu'à 36,85 pour 100 d'eau. De plus, il fond en une scorie noire et bulleuse dès qu'on le chauffe au rouge.

Si les parcelles qui composent ce tuf ont été cimentées et s'il a pris la structure pseudorégulière, cela tient sans doute à quelque effet mécanique et à un retrait produit par la chaleur; mais, d'après la quantité d'eau qu'il contient et la manière dont il se comporte quand on le chauffe, il est bien visible qu'il n'a jamais été soumis à une température élevée.

— Quelquefois les roches argileuses se divisent en sphéroïdes près de leur contact avec les roches trappéennes. § 117. *Structure sphéroïdale.*

Thuringerwald. — En effet, dans la vallée d'All, dans le Thuringerwald, M. Credner a trouvé dans un puits pour l'extraction de la houille, un schiste argileux qui a été métamorphosé par le mélaphyre. Ce schiste est devenu plus compacte, plus lithoïde, et il a pris une structure sphéroïdale. L'action du mélaphyre est d'ailleurs sensible jusqu'à plus de 10 mètres. Mélaphyre et Schiste.

Belfast. — Dans l'une des carrières de Cave Hill, Trapp et Argilithe.

près de Belfast, le grès vert supérieur est en contact avec le trapp. On y observe une couche formée d'argilithe et imprégnée d'hydroxyde de fer. Sa densité est de... 2.572. Elle prend contre le filon une structure fragmentaire, et quelquefois elle se délite même confusément en sphéroïdes.

Cependant elle a conservé l'odeur ainsi que l'apparence d'une roche argileuse, et il importe de remarquer qu'elle contient encore 8 pour 100 d'eau. Par conséquent, bien que cette roche ait pris la structure sphéroïdale, aucune de ses propriétés n'indique assurément qu'elle ait été fortement chauffée.

§ 118. *Structure prismatique.*

— Examinons maintenant des roches argileuses qui se divisent en prismes au contact du trapp. Il est alors bien certain que ces roches ont été métamorphosées; on admet même qu'elles ont été soumises à une chaleur intense, et on leur donne le nom de *thermantides*.

L'étude des faits va nous apprendre si cette opinion est bien exacte.

Mélaphyre et Grauwake argileuse.

Tyrol. — Dans le sud du Tyrol, une grauwake argileuse s'observe au contact du mélaphyre. Cette grauwake est devenue dure, sonore et cassante. Elle a pris, en outre, une belle structure prismatique (1).

Basalte et Pépérite.

Puy-de-Mur. — Au Puy-de-Mur, près de Pont-du-Château, en Auvergne, une nappe de basalte recouvre une espèce de pépérite (2) (Pl. V *fig.* 11). Cette pépérite se divise en prismes comme le basalte; par conséquent, nous avons ici un exemple de prismes ayant de grandes dimensions, tandis que ceux qui sont au contact des roches trappéennes n'ont généralement qu'une très-petite section. Lorsqu'on calcine cette pépérite on reconnaît que sa composition est très-complexe; mais on

(1) Petzholdt. *Geognosie von Tyrol*, p. 153.

(2) Lecoq et Bouillet. *Vues et coupes du Puy-de-Dôme*, p. 16.

peut encore distinguer les débris qu'elle renferme. Il y a une sorte de trass, du pyroxème, du quartz hyalin, du feldspath. Ses fragments sont réunis par un ciment ferrugineux jaunâtre qui tapisse toutes les cellules. Sur certains points, il s'est, en outre, formé des nodules d'hématite brune. Il n'y a pas de carbonate.

Cette pépérite prismatique est gris jaunâtre. Elle donne l'odeur argileuse. Sa densité très-faible est seulement... 1,39. Elle fond en un verre noirâtre à la température rouge. Elle contient... 18,00 pour 100 d'eau. Quand on l'attaque par l'acide chlorhydrique, on a un résidu blanchâtre qui, après la calcination, est de 60 pour 100.

Elle paraît avoir été altérée par une infiltration puissante qui a corrodé et modifié ses fragments, entre lesquels il s'est déposé un ciment qui est souvent ferrugineux. Ce métamorphisme doit sans doute être attribué à la nappe de basalte qui recouvre la pépérite. Il est d'ailleurs analogue à celui subi par la pépérite changée en spilite au contact du basalte de Gergovia; seulement, ici, les cellules sont moins nombreuses et elles ne sont pas tapissées par de la chaux carbonatée et des zéolithes (p. 437).

Puy-de-la-Vache. — Au Puy-de-la-Vache, à Saint-Saturnin, une coulée de roche volcanique recouvre un tuf qu'elle a rendu prismatique (1). Ce tuf se divise en prismes irréguliers et un peu contournés, qui ont quelques centimètres quarrés de section. Il est dur et lithoïde. Son examen montre qu'il est formé de parcelles très-fines provenant de différentes roches volcaniques. Il a une structure légèrement celluleuse. Il contient des grains de quartz et de feldspath ainsi que des fragments **Roche volcanique et Tuf.**

(1) Cette roche porte le n° CLII dans la *Collection de l'Auvergne*, par MM. Lecoq et Bouillet.

de lave. Il ne renferme pas de carbonates. Entre ses fissures il s'est déposé de l'hydroxyde de fer. Sa densité est seulement de 2,24. Lorsqu'on calcine ce tuf prismatique, il dégage 11 p. 100 d'eau. Il fond d'ailleurs avec une grande facilité, et il donne une scorie noire bulleuse qui est très-légère.

Ainsi, au contact de la roche volcanique, ce tuf a pris une structure prismatique, et de plus il a éprouvé des retraits considérables; il a même été agglutiné, ce qui accuse nécessairement une chaleur très-vive; mais, malgré cela, il a perdu seulement une portion de l'eau qu'il renfermait, et il n'a pas été chauffé jusqu'à la chaleur rouge à laquelle il entre complétement en fusion.

Je ne suis pas parvenu à me procurer la roche volcanique du Puy-de-la-Vache qui est au contact immédiat du tuf prismatique. On sait qu'à la surface de la coulée qui a plus de 4 lieues de longueur, elle est très-scoriacée, en sorte qu'elle présente bien tous les caractères d'une lave; mais elle devient au contraire très-compacte à sa partie inférieure, et, comme elle contient de l'augite et du péridot, d'Aubuisson remarque qu'alors elle ne diffère en rien du basalte. Quoi qu'il en soit, le tuf prismatique porte visiblement les traces d'une chaleur intense qu'on n'observe pas habituellement au contact des roches trappéennes; et, d'un autre côté, si l'on admet que la roche à son contact était une lave, elle devait être déjà en partie refroidie.

Roche volcanique et Roches argileuses.

Puy-en-Velay. — L'argile prismatique est surtout bien caractérisée à Polignac, à Solignac-sous-Roche et au Collet, près du Puy-en-Velay.

A Polignac, elle contient de nombreux fragments de diverses roches et elle passe au conglomérat. Elle forme des prismes bien réguliers, droits ou courbes, qui ont plusieurs décimètres de longueur.

Au Collet, elle se trouve au contact d'une roche basaltique noirâtre qui y pénètre même en masses plus ou moins considérables. La perte au feu de cette roche prise au contact immédiat est supérieure à 7 p. 100.

Quant à l'argile, elle appartient au terrain tertiaire marneux et gypseux. Elle se divise en une multitude de petits prismes ayant au plus 1 centimètre quarré de section. Sa couleur est brun rougeâtre. Elle contient visiblement beaucoup d'oxyde de fer, et il serait même possible qu'elle en eût été imprégnée. Elle n'est pas mélangée de carbonates. Elle se décolore et elle s'attaque fortement par l'acide chlorhydrique. Quand on la calcine, elle se fritte et elle éprouve un retrait fort considérable; ses prismes conservent du reste leur forme. Elle renferme l'énorme proportion de... 22,56 p. 100 d'eau.

Une autre variété de cette argile provenant également des environs du Puy est prismatique, gris. bleuâtre, fortement durcie et même lithoïde. Sa densité est de... 2,447. Elle contient seulement... 13,75 d'eau, et la chaleur l'a visiblement altérée.

Dans les interstices des prismes de toutes ces roches argileuses, il s'est déposé du bol et de l'oxyde de manganèse.

Meissner. — Enfin, il est une argile prismatique qu'on a surtout citée comme une preuve irrécusable de la température élevée du basalte; c'est celle du mont Meissner. Elle se trouve immédiatement sous le basalte qu'elle sépare du lignite changé en anthracite (Pl. IV, *fig.* 7 et p. 150). Indépendamment de ce qu'elle se divise en petits prismes perpendiculaires au basalte, elle a une couleur brun rouge qui rappelle celle de la brique. Tout semblerait donc indiquer qu'elle a subi une chaleur très-intense; je me suis assuré cependant qu'il n'en est rien, comme il est facile de s'en convaincre par l'étude de ses propriétés.

Basalte et Argile.

D'abord l'argile du Meissner donne encore par insufflation l'odeur argileuse. Elle happe à la langue. Elle est tendre, douce au toucher, et elle se laisse facilement rayer par l'ongle. Toutefois, elle ne se délaye pas dans l'eau. Sa densité est... 2,312. Quand on la fait bouillir avec l'acide chlorhydrique, elle s'attaque très-fortement et elle laisse un résidu brun jaunâtre qui, après calcination, pèse... 58 pour 100. L'oxyde de fer est bien combiné dans l'argile, et non pas simplement mélangé. Calcinée au rouge, elle prend une couleur brun noirâtre, elle éprouve un retrait considérable et elle s'agglutine légèrement; il est visible par cela seul qu'elle n'a jamais été chauffée jusqu'au rouge.

L'intervalle entre les prismes d'argile du Meissner a été rempli par une argile blanc-jaunâtre très-onctueuse : cette dernière argile se retrouve aussi au Puy-en-Velay. Elle me paraît être un produit d'infiltration. Et, en effet, quand on la calcine, elle prend une couleur brune comme la colophane et elle perd 23,02 pour 100 d'eau : c'est donc un bol ou une argile ferrugineuse, qui provient du basalte supérieur.

L'argile rouge du Meissner est mélangée de petits grains de sable quartzeux. On y distingue aussi quelques débris noirâtres. Bien qu'elle soit très-impure, j'ai pensé cependant qu'il serait intéressant d'en faire un essai.

Argile prismatique du Meissner.

Silice	52,68
Alumine	12,27
Oxyde de fer	15,39
Magnésie	1,66
Chaux	0,73
Eau	17,50
Somme	100,23

L'argile rouge et prismatique du Meissner contient

une très-grande proportion d'oxyde de fer. On y trouve aussi un peu de magnésie.

Il est très-remarquable qu'elle renferme encore autant d'eau que l'argile plastique employée pour la fabrication de la poterie.

— Passons maintenant en revue les gisements dans lesquels les roches argileuses sont devenues prismatiques. Nous verrons d'abord qu'elles contiennent quelquefois beaucoup d'oxyde de fer; en sorte qu'elles paraissent avoir été imprégnées d'hydroxyde de fer, comme cela a été bien constaté déjà pour les combustibles (§ 41 à 49). Mais nous remarquerons surtout qu'elles renferment une très-grande proportion d'eau; car il y en a jusqu'à 23 p. 100 dans l'argile du Puy, et celle du Meissner en contient encore plus de 17 p. 100.

D'un autre côté, il importe d'observer que l'argile peut quelquefois devenir fragmentaire ou prismatique par une simple dessiccation à l'air libre. J'ai constaté, en effet, que l'argile sapide et jaune nankin, qui se trouve au-dessus du gypse, dans les environs de Narbonne, se divise spontanément en prismes. On s'en rend compte d'ailleurs en remarquant qu'elle est très-avide d'eau, dans laquelle elle se change en une boue floconneuse blanc-jaunâtre, et qu'elle retient encore 28,35 d'eau, même lorsqu'elle est devenue prismatique.

Comme l'argile ne reprend pas son eau quand elle a été calcinée fortement, il ne me paraît pas possible d'admettre que l'argile prismatique, en contact avec une roche trappéenne, ait jamais été soumise à une température élevée. Toutefois, il est vraisemblable qu'au moment de l'éruption de la roche trappéenne, elle a perdu une certaine quantité d'eau : cette simple dessiccation a suffi pour occasionner un retrait et pour produire la structure prismatique.

Les études que nous avons faites jusqu'ici nous démontrent donc que la structure prismatique n'est pas nécessairement l'indice d'une température élevée, lors même que cette structure se serait développée au contact immédiat d'une roche trappéenne. Cela résulte, en effet, des propriétés de toutes les roches qui ont pris la structure prismatique, que ce soient des combustibles, des roches calcaires, siliceuses ou argileuses.

§ 119. *Structure lithoïde.* — Les roches argileuses normales sont généralement tendres et même plus ou moins plastiques. C'est seulement quand elles ont été métamorphosées, qu'elles deviennent dures, pierreuses, en un mot lithoïdes. Souvent ce métamorphisme s'observe sur des couches entières, sans qu'il y ait aucune roche éruptive visible. Dans d'autres circonstances, au contraire, il se produit au contact ou bien au voisinage de roches trappéennes, et alors il ne saurait y avoir aucun doute sur son origine. C'est ce dernier cas que je vais étudier successivement pour les schistes et pour les marnes.

Trapp et Argile. **Ile Rathlin.** — Dans le nord-ouest de l'île Rathlin, l'argile contenant des silex roulés qui recouvre la craie se trouve en contact avec un dyke de trapp qui l'a modifiée.

Les silex peuvent être complétement brisés, et entre leurs fragments, l'on observe quelques lamelles de chaux carbonatée.

Quant à l'argile rouge, elle a pris une couleur grisbrunâtre et elle est devenue un peu lithoïde. Sa densité est... 2,527. Sa perte au feu... 10,85. Elle passe au brun rougeâtre et elle se fritte facilement par la calcination. Bien que le silex soit entièrement fendillé par l'action du trapp, on voit que l'argile qui l'accompagne n'a pas été fortement altérée.

Schiste lithoïde. Trapp et Schiste houiller. **Planiolles.** — Le schiste houiller de Planiolles, près de Figeac dans le Lot, est traversé et quelquefois même

empâté par une roche éruptive connue sous le nom de *roche noire* (1).

J'ai examiné cette roche noire dont un échantillon a été mis à ma disposition par M. d'Archiac. Elle contient des lamelles feldspathiques et un peu de fer carbonaté. Elle est en grande partie formée par une pâte feldspathique. Son éclat est résineux. Sa perte au feu est de 2,90. Elle fond assez difficilement. Elle s'attaque très-peu par l'acide chlorhydrique. Certaines variétés de roche noire renferment du mica, du pyroxène, peut-être même du péridot; quelquefois aussi elle passe à la serpentine, comme à Flagnac. Enfin elle peut contenir des amygdaloïdes de quartz. La variété de Planiolles est un trapp ayant un éclat résineux.

D'après les auteurs de la Carte géologique de France, le schiste houiller enveloppé par la roche noire a conservé sa stratification, ainsi que ses empreintes végétales, mais il est devenu lithoïde. Ce fait est intéressant à constater, car il montre que cette roche singulière a métamorphosé le schiste houiller, comme cela aurait eu lieu avec une autre roche trappéenne.

Menzenberg. — Aux environs de Menzenberg, près du Rhin, on trouve un filon de basalte qui a une puissance de 1m,5. Ce basalte est celluleux et changé en une sorte de terre à foulon. A son contact, le schiste dévonien a perdu sa structure schisteuse et il a été métamorphosé en schiste coticule (*Wetzschiefer*) (2). Basalte et Schiste.

(1) Dufrénoy et É. de Beaumont. *Carte géologique de France*, t. I, p. 616, *fig.* 34. — Voir relativement à la roche noire : Duhamel (*Journal des mines*), t. VIII, p. 4). — Cordier, (*Journal des mines*, t. XXI, p. 470). — Puvis (*Annales des mines*, t. III, p. 43). — Gordien (*idem*), p. 565). — Berthier (*idem*, p. 49 et 569). — Lelièvre (*idem*, p. 48).

(2) *Neues Jahrbuch* von Leonhard und Bronn, 1857, p. 395.

Trapp et Schiste houiller.

Newcastle. — Les trapps qui ont métamorphosé la houille en coke ont altéré aussi les couches argileuses du terrain houiller. C'est ce que l'on voit très-bien à Coaley-Hill, aux environs de Newcastle (p. 140).

J'ai examiné un schiste houiller lithoïde qui provenait de ce dernier gisement où il avait été recueilli par M. Élie de Beaumont.

Ce schiste est formé par une argilithe très-micacée. Il est devenu dur et pierreux; au contact du trapp, il est même prismatique. Il a du reste conservé sa couleur noire qui tient à un mélange de matières charbonneuses, et ses empreintes végétales sont restées bien distinctes. Par insufflation, il donne encore l'odeur argileuse. Sa densité est 2,515. On n'y trouve pas de carbonate. Quand on le calcine, sa dureté augmente, mais il conserve à peu près le même aspect; sa perte au feu est alors de 9,33.

Les propriétés de ce schiste lithoïde montrent bien que son altération est assez légère et qu'il n'a pas été soumis à une température élevée. Le trapp qui est à son contact pouvait, il est vrai, carboniser la houille; mais il n'a pas scorifié le schiste, et même il ne lui a pas

---

Ce basalte décomposé de Menzenberg contient une substance verte qui y forme des veines ou des amygdaloïdes. MM. Krantz et Bergemann, qui l'ont examinée, l'ont nommée *Gramenite*. Il me paraît qu'elle doit être réunie à l'*Érinite* de Thomson et à l'argile ferrugineuse dont j'ai signalé à plusieurs reprises l'existence, soit dans les roches trappéennes, soit dans leur voisinage. Toutes ces substances sont des argiles caractérisées par une très-grande richesse en oxyde de fer; elles ne constituent pas des espèces minérales, et par leur composition, qui est d'ailleurs très-variable, elles sont intermédiaires entre le *Bol* et le *Chloropal* (Nontronite). (Dana. *Mineralogy*, 4e édit., t. II, p. 262 et 337. — Hausmann. *Vorkommen des Chloropals in Begleitung des Basaltes;* Nachrichten von der G. A., Universität zu Göttingen. N° 15. — 1857.)

fait perdre complétement son eau; il l'a simplement durci. Voilà donc une preuve nouvelle que le trapp qui a métamorphosé la houille en coke n'était pas à l'état de fusion ignée, mais possédait seulement la chaleur due à la profondeur de laquelle il venait, dans l'intérieur de la terre (§ 8).

Bangor. — Aux environs de Bangor, j'ai observé des filons de trapp qui coupent le schiste ardoisier. On les voit très-bien sur les deux rives du détroit de Menaï et à Penrhyn. Près de leur contact, le schiste est plus dur et plus compacte; il est devenu lithoïde. Quelquefois aussi il change de couleur. Ainsi à Penrhyn, près d'un filon de trapp ayant environ 3 mètres, il perd sa fissilité jusqu'à une distance de 1 mètre, et en même temps sa couleur, qui était rouge, devient noirâtre (1). Trapp et Schiste fossilifère.

Llandegly. — Dans le Brecknok-Shire, près de Llandegly, le trapp a également rendu lithoïde le schiste qui est à son contact. Néanmoins, les tribolites et les fossiles de ce schiste ont été très-bien conservés (2). La présence de ces fossiles fait bien voir que la métamorphose, produisant la structure lithoïde, s'opère dans le schiste sans qu'il y ait fusion. Trapp et Schiste ardoisier.

— Lorsque la roche argileuse qui a pris la structure lithoïde était calcaire, on peut se demander ce que deviennent ses carbonates. Il sera facile de répondre à cette question en examinant d'abord le cas où la roche argileuse contient peu de calcaire.

Cultra. — Revenons, en effet, au gisement de Cultra où nous trouvons un trapp qui a rendu lithoïde un schiste argileux et calcaire (Pl. V, *fig.* 9). Trapp et Schiste calcaire.

Ce schiste argileux appartient au terrain permien,

---

(1) J. Wyatt. *Geological society of London*, t. II, p. 449.
(2) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde*, 2e partie, p. 46.

comme le grès avec calcaire magnésien qui a été décrit précédemment (p. 264). On y observe des couches qui renferment des débris de poissons. Les filons qui le traversent sont désignés par t_5, t_6, t_7.

Trapp. — Le trapp de Cultra, qui a produit le métamorphisme du schiste argileux, diffère de celui qui a métamorphosé le grès. Il a une structure pseudorégulière et il se divise en parallélipipèdes. Son clivage le plus facile est parallèle aux parois du filon. Il est noir verdâtre ; mais lorsqu'il est pulvérisé, il devient grisâtre. J'y ai distingué des lamelles de labrador, de l'augite, du fer oxydulé, du fer carbonaté, des zéolithes et de la chlorite. Sa densité est... 2,767.

Un essai par l'acide chlorhydrique m'a montré qu'il fait une effervescence lente et qu'il s'attaque fortement.

Trapp de Cultra.

Résidu insoluble et Silice	49,80
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie	24,44
Chaux	4,54
Magnésie, Alcalis (diff.)	14,02
Eau	6,42
Acide carbonique	0,78
	100,00

Ce trapp de Cultra a été pris dans le filon (Pl. V, *fig.* 9).

J'ai essayé également le schiste argileux normal et le schiste argileux métamorphique.

Le premier a été pris à plusieurs décimètres du trapp, le second à son contact immédiat.

Schiste. — Le schiste argileux normal est une argilithe qui possède à peine la structure schisteuse. Sa couleur est gris noirâtre. Il est friable, très-tendre et onctueux. Par insufflation, il répand fortement l'o-

deur argileuse. Quand on le met dans l'eau, il donne même une sorte de boue qui se tient en suspension. Sa densité est 2,498. Il est calcaire et il fait une effervescence vive avec l'acide. Lorsqu'on le calcine, il devient jaune blanchâtre. Il est facilement fusible, car il commence à fondre dès qu'on le chauffe à la chaleur rouge.

Schiste lithoïde. — Le schiste argileux métamorphique diffère du schiste normal en ce qu'il est lithoïde. Au contact du trapp, sa stratification a disparu, et il a pris un clivage parallèle aux parois du filon. Aussi forme-t-il deux salebandes bien distinctes qui encaissent le trapp et qui ont plusieurs décimètres de largeur.

Sa couleur est grise, tirant sur le vert noirâtre, comme celle du trapp. Par insufflation, il donne encore l'odeur argileuse. Il s'agglutine également par la chaleur. Quand on le traite par l'acide, il fait une très-légère effervescence et il s'attaque immédiatement en donnant une matière argileuse et floconneuse. Sa densité est 2,500; elle est la même que celle du schiste normal; mais il est beaucoup plus compacte et plus dur.

— J'ai trouvé par des essais comparatifs de ces deux schistes de Cultra, attaqués successivement par l'acide chlorhydrique et par le carbonate de soude :

	Schiste de Cultra.			
	Normal.		*Lithoïde.*	
	Acide chlorhydrique.	Carbonate de soude.	Acide chlorhydrique.	Carbonate de soude.
Résidu insoluble	66,70	»	63,80	»
Silice	»	54,55	»	55,05
Alumine, Oxyde de fer, Magnésie	19,30	28,14	23,84	27,50
Chaux	2,77	3,75	1,27	2,16
Alcalis et perte (diff.)	2,23	4,56	2,89	7,10
Eau	6,92	6,92	7,92	7,92
Acide carbonique	2,08	2,08	0,28	0,28
	100,00	100,00	100,00	100,00

Il est facile de voir que le schiste argilo-calcaire de Cultra a perdu presque tout son acide carbonique au contact du trapp. Cet acide carbonique a sans doute disparu par dissolution ; car le schiste n'est pas devenu celluleux.

D'un autre côté, l'acide carbonique éliminé étant de 1,8, la chaux qu'il neutralisait devait s'élever à 2,29. Comme la chaux perdue est seulement de 1,6, on doit naturellement admettre que 30 p. 100 de la chaux du carbonate sont entrés en combinaison avec la silice du schiste.

Le schiste métamorphique s'attaque plus facilement par l'acide que le schiste normal. Cependant sa composition en diffère assez peu ; il contient seulement plus d'eau, plus d'alcalis et un peu plus de silice (p. 256).

J'observerai d'ailleurs que le schiste qui prend la structure lithoïde au contact du trapp n'a pas été silicifié, comme on l'admet généralement. Il s'est durci et les substances minérales qu'il renferme se sont combinées plus intimement ; mais l'altération qu'il a subie dans sa composition est très-légère.

— Voici maintenant quelques gisements dans lesquels la roche argileuse est très-calcaire, et on va voir que le plus souvent elle contient encore des carbonates, bien qu'elle soit devenue lithoïde.

Spilite et Schiste calcaire.

Alpes. — Les spilites des Alpes sont souvent en contact avec le schiste calcaire. Il suffira de citer, comme exemple, le spilite du Chapeau qui, à l'O.-N.-O. de Chatelard, recouvre un schiste argilo-calcaire. Les échantillons que j'ai examinés ont été pris au contact et même provenaient des collections réunies pour la carte géologique de France par M. É. de Beaumont.

I. *Spilite* noirâtre avec lamelles de fer carbonaté et amygdaloïdes de chaux carbonatée. Sa couleur est brune après calcination.

II. *Schiste* argilo-calcaire, lithoïde, dense, très-compacte et de couleur rouge brique, faisant une effervescence très-lente. Il supporte toute la masse de spilite du Chapeau.

	Densité.	Eau.	Acide carbonique.	Perte au feu.
I. . . .	2,730 . . .	3,85 . . .	3,35 . . .	7,20
II. . . .	2,778 . . .	3,25 . . .	14,85 . . .	18,10

On voit que le schiste du Chapeau a une densité considérable, et il est facile de le concevoir, puisqu'il a dû être fortement comprimé. De plus, il contient de l'eau et une grande proportion de carbonate. On ne doit pas s'en étonner, puisqu'il en est de même pour le spilite. Rien n'indique d'ailleurs que ce schiste ait été soumis à température élevée.

Banow. — A Banow, près d'Ungarishbrod en Moravie, M. Boué a observé un cône formé par une espèce de phonolithe qui a disloqué une marne argileuse (1). De nombreux fragments de cette marne ont été empâtés et métamorphosés; il m'a paru intéressant de les examiner. *Marne lithoïde.* Phonolithe et Marne.

Le phonolithe est gris verdâtre, légèrement celluleux, et il contient des aiguilles d'hornblende noire.

La marne est bigarrée, et la chaux carbonatée y forme des veines ou bien y remplit des espèces de cellules qui apparaissent seulement lorsqu'elle a été altérée par l'action de l'air. Sa couleur est gris de fumée noire ou verdâtre. Elle a visiblement été endurcie; elle est devenue pierreuse et lithoïde; cependant elle donne

(1) *Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle*, 1822, t. XCV, p. 299.

encore par insufflation l'odeur argileuse. Sa cassure est esquilleuse. Sa densité est seulement de 2,519.

Quand on la grille, elle prend une couleur blanche; par conséquent sa couleur noire tient à la présence d'une matière charbonneuse. Lorsqu'on la chauffe très-fortement, elle fond dans les parties calcaires. Elle fait une effervescence assez lente dans l'acide et elle renferme un peu de magnésie. Un essai de cette marne m'a donné :

Marne lithoïde de Banow.

Partie insoluble	56,20
Partie soluble	28,90
Eau	8,56
Acide carbonique	6,54
	100,00

Il est donc visible que la marne de Banow, empâtée dans le phonolithe, contient encore de l'eau et de l'acide carbonique.

Marne lithoïde.

Essey. — Le basalte de la côte d'Essey a produit sur les roches argileuses des phénomènes de métamorphisme qui sont très-remarquables. Ce métamorphisme est assez évident pour qu'il ne puisse être contesté par personne, et, d'un autre côté, il n'a pas tellement altéré les roches qu'il ne soit encore facile de les reconnaître et même de déterminer, à l'aide de leurs fossiles, le terrain auquel elles appartiennent.

Nous allons l'étudier en suivant l'ordre de gradation des phénomènes.

Basalte et Marnes du muschelkalk.

Vers la base de la côte d'Essey, on retrouve, dans les roches argileuses, les divers minéraux des gîtes métallifères dont nous avons déjà signalé l'existence dans les calcaires (p. 215). Ces minéraux sont bien cristallisés, comme dans les filons, et des sulfures métalliques les accompagnent. Ils se sont d'ailleurs for-

més dans des fissures et dans des géodes. Leur origine est évidemment aqueuse. On les observe surtout à Haillanville, à Damas-aux-Bois et à Saint-Bonig, dans les couches argileuses du muschelkalk supérieur.

On rencontre fréquemment dans ces mêmes couches des géodes aplaties ayant à leur circonférence de la chaux carbonatée fibreuse *c* d'une couleur blanche ou bleuâtre, par-dessus laquelle reposent des cristaux métastiques *m* d'une chaux carbonatée qui est remarquable par sa belle couleur rose (Pl. V, *fig.* 13).

Si nous nous rapprochons maintenant du basalte, nous trouvons sur la côte même d'Essey les marnes rouges qui sont associées au gypse dans l'étage inférieur du keuper. Elles sont devenues dures, sonores et lithoïdes. Quelquefois même elles sont celluleuses et comme boursouflées. **Basalte et Marnes irisées.**

J'ai examiné un fragment de marne à structure lithoïde qui était complétement empâté dans le basalte d'Essey. Vers les bords, il se fondait insensiblement dans la pâte du basalte, et ses contours étaient un peu vagues. Il était bien compacte et de couleur verdâtre. Sa dureté avait beaucoup augmenté; mais il donnait cependant l'odeur argileuse par insufflation. En outre il contenait 7,5 p. 100 d'eau et 10.5 d'acide carbonique. On voit donc qu'une marne peut encore renfermer de l'eau et de l'acide carbonique, quand bien même elle a pris une structure lithoïde au contact du spilite, du phonolithe ou du basalte.

A la partie supérieure de la côte d'Essey, M. Lebrun a signalé également l'existence de blocs isolés du lias qui ont subi un métamorphisme beaucoup plus complet. **Basalte et Marne du lias.**

Ces blocs, qui atteignent plusieurs mètres cubes, se trouvent au-dessus du basalte dans une fissure qui

traverse le grès médio-keupérien de M. Levallois.

Ils sont recouverts par un sable brun siliceux et incohérent. Tantôt ils sont formés par un calcaire grenu, cristallin, de couleur blanc jaunâtre, qui est quelquefois pénétré par de la baryte sulfatée. Tantôt, au contraire, ils appartiennent à une roche argileuse métamorphique que je me propose d'examiner spécialement ici.

Cette roche provient bien du lias, car on y distingue le *pecten costulatus* et divers fossiles liasiques qui ont été conservés. Le tet calcaire de ces fossiles a disparu et il a été remplacé par une argile ferrugineuse ou bolaire, jaune verdâtre, à éclat cireux. La même argile se retrouve dans les fissures de la roche et on a vu qu'elle est très-fréquente dans les roches basaltiques. Les cavités laissées libres par les fossiles ont été remplies également par cette argile *a* qui enveloppe quelquefois des nodules de chaux carbonatée blanche et transparente *c* (Pl. V, *fig.* 16).

Le lias métamorphique d'Essey a pris une couleur grise foncée qui au premier abord le fait ressembler au basalte. Dans les parties altérées, sa couleur est brune. Il ne contient plus de calcaire. Il est devenu tout à fait pierreux et sa cassure est esquilleuse; de plus, il est assez dur pour rayer le verre et sa grande cohésion le rend même difficile à pulvériser. On voit donc que ses propriétés physiques ont été complétement modifiées et qu'il a pris la structure lithoïde à un degré remarquable.

L'échantillon que j'ai analysé provenait d'un bloc arrondi du lias ayant environ 1 mètre de diamètre. Sa densité est... 2,503. Il présentait les caractères que je viens d'indiquer.

J'ai trouvé pour sa composition :

Lias lithoïde d'Essey.

Silice	56,46
Alumine	19,76
Oxyde de fer	6,33
Magnésie	2,94
Chaux	2,20
Soude	1,49
Potasse	6,38
Eau	5,10
	100,66

Le lias d'Essey était sans doute originairement à l'état de marne très-argileuse; mais sa composition paraît avoir été fortement altérée par le basalte.

En effet, ce lias lithoïde contient moins d'eau qu'il n'y en a habituellement dans l'argile. Il renferme, au contraire, beaucoup d'alcalis et surtout de potasse; par suite il n'est pas étonnant qu'il soit dur, pierreux et que, par ses caractères, il diffère complétement de l'argile et même de l'argilithe. J'ajouterai maintenant que le calcaire a disparu pour la plus grande partie; car, dans le lias métamorphique, on trouve seulement quelques nodules de chaux carbonatée spathique qui se sont formés à la manière des amygdaloïdes. La perte des carbonates est du reste assez fréquente dans les roches argilocalcaires qui ont été fortement métamorphosées, et j'en citerai encore des exemples remarquables.

Quant à la cause de ce métamorphisme du lias d'Essey, on la trouve dans le basalte, et aussi dans les eaux thermales qui au moment de l'éruption ont déposé, jusque dans le lias lui-même, les minéraux des gîtes métallifères. Il est donc certain que l'eau a joué un rôle important dans ce métamorphisme.

§ 120. *Structure celluleuse et amygdalaire.* — Lorsque les roches argileuses sont calcaires, non-seulement elles deviennent lithoïdes au contact des roches trappéennes, mais elles peuvent prendre quelquefois une structure celluleuse et amygdalaire. Il se forme alors des roches auxquelles on donne assez généralement le nom de *Spilites*.

Spilites.

Trapp et Roches argileuses.

Perth. — Ainsi, à Moncrieff, près de Perth, le docteur Mac Culloch a observé des roches argileuses intercalées dans des grès traversés par une roche trappéenne. Or, près du contact, ces roches deviennent compactes, et quelquefois il s'y est formé des cavités ou des amygdaloïdes à noyaux calcaires (1).

Trapp et Cornstone.

Radnorshire. — Dans le comté de Radnor, à Woodburn et à Abberley, Sir Roderick Murchison a constaté que le *cornstone* et certaines couches marneuses du terrain silurien deviennent aussi amygdalaires au contact du trapp. Elles prennent alors une couleur rouge pourpre, se durcissent, et l'on y trouve des amygdaloïdes contenant de la chaux carbonatée ainsi que de la pyrite (2).

Ophite et Marnes.

Pyrénées. — L'ophite des Pyrénées a quelquefois donné la structure celluleuse aux marnes, notamment à celles de l'étage gypsosalifère.

Généralement ces marnes ont été repliées, contournées et complétement disloquées. Elles sont bariolées et elles ont pris une couleur rouge ou violacée. Elles sont devenues dures, lithoïdes et schisteuses.

Près du contact de l'ophite, elles sont fragmentaires, et elles forment des brèches dans lesquelles il y a des vides, provenant sans doute de la destruction de parties

---

(1) Boué. *Essai sur l'Écosse*, p. 143.

(2) Sir Roderick Murchison. *Quarterly journal of the geological society of London*, t. II, p. 85.

calcaires; elles ont alors une structure cariée qui est caractéristique.

Enfin ces marnes métamorphiques peuvent aussi avoir une structure celluleuse proprement dite.

J'ai examiné spécialement une marne à structure celluleuse qui se trouvait au contact immédiat de l'ophite de Berg, dans la Chalosse.

Cette marne est associée à du gypse rouge et spathique qui contient du quartz bipyramidé et de l'arragonite. Elle est gris verdâtre, dure, rude au toucher, pesante et lithoïde. Ses cellules sont tapissées de cristaux de fer oligiste, de quartz et de gypse. Les mêmes minéraux forment également un enduit qui recouvre ses fissures. Elle ne renferme plus qu'une trace de carbonate. Sa perte au feu, qui est due à de l'eau, est de... 8,30. Quand on la traite par l'acide chlorhydrique, elle se décolore en partie; mais elle s'attaque très-faiblement, car elle laisse un résidu qui, après calcination, ne pèse pas moins de 90 p. 100.

Quelle qu'ait été sa composition originaire, cette marne a été fortement métamorphosée, comme l'indique immédiatement son aspect. Il est remarquable, d'ailleurs, qu'elle renferme encore 8 p. 100 d'eau, bien qu'elle soit imprégnée de fer oligiste, et qu'elle ait perdu son carbonate.

— Nous avons successivement passé en revue le métamorphisme que l'ophite des Pyrénées a exercé sur les calcaires, sur le gypse et sur les roches argileuses (p. 196, 223, 423 et 462). Quelques remarques sur l'origine de cette roche se déduisent immédiatement de l'étude de ce métamorphisme.

Or l'éruption de l'ophite paraît bien avoir été accompagnée de chaleur, comme semble l'indiquer la présence de l'arragonite et surtout celle du fer oligiste qui se re-

trouve si généralement dans les roches métamorphosées à son contact. Il est vraisemblable même que le fer oligiste provient de la décomposition de chlorure de sodium qui aura été entraîné par des vapeurs ; on trouve, en effet, des rognons de sel marin dans le gypse qui a été pénétré par l'ophite. Toutefois, comme ce fer oligiste se montre jusque dans le gypse, dans le calcaire et dans des roches qui sont à peine altérées, sa formation n'exigeait pas une température élevée. Il faut remarquer, d'ailleurs, que les roches en contact avec l'ophite n'ont pas toujours été altérées ; que l'on n'a pas observé d'anhydrite dans le gypse traversé par l'ophite ; que les roches métamorphosées par l'ophite contiennent toutes de l'eau, quelquefois même jusqu'à 10 p. 100 ; que de plus aucune d'elles ne paraît avoir éprouvé la fusion ignée. On doit donc conclure de tous ces faits, que l'ophite n'a pas une origine ignée comme les laves. Elle a bien pu faire éruption avec dégagement de chaleur et de vapeurs ; mais, ainsi que l'indique sa composition minéralogique, son origine est la même que celle des autres roches trappéennes.

— Lorsque des roches sédimentaires sont formées de débris de roches trappéennes, elles ont une grande tendance à prendre par le métamorphisme une structure celluleuse. C'est ce que l'on observe notamment lorsque la pépérite se trouve au voisinage du basalte, et je vais prendre comme exemple le gisement célèbre de Gergovia.

Basalte et Pépérite calcaire.

Gergovia. — Dans le grand ravin de la montagne de Gergovia, il est, en effet, très-facile d'étudier l'action du basalte sur une pépérite calcaire (Pl. V, *fig.* 12).

Cette pépérite change complétement de caractères au voisinage des filons de basalte qui la traversent. Ses couches sont contournées ; leur stratification est

confuse et elle disparaît même entièrement. A mesure qu'on se rapproche du basalte, la pépérite, qui est gris jaunâtre, prend une teinte de plus en plus foncée; d'argileuse qu'elle était, elle devient dure et lithoïde; en même temps des cellules y apparaissent peu à peu et elle ne tarde pas à montrer une structure celluleuse bien caractérisée; en un mot, elle passe au spilite. Comme on l'a vu précédemment, ses cellules sont d'ailleurs tapissées par de la chaux carbonatée, par de l'arragonite et par des zéolithes (p. 437).

C'est près du contact que l'action du basalte était la plus énergique; aussi la pépérite s'y est-elle métamorphosée en un spilite très-scoriacé qui forme des rochers abruptes et saillants (Pl. V, *fig.* 12).

Il était intéressant d'étudier et de définir l'altération éprouvée par la pépérite. A cet effet, j'ai choisi des pépérites se trouvant à des distances de plus en plus petites du basalte; puis j'ai déterminé leur densité, ainsi que leurs quantités d'eau et d'acide carbonique. Le résidu insoluble laissé dans l'attaque par l'acide chlorhydrique faible a été pesé également.

J'ai opéré d'abord sur des échantillons qui provenaient du métamorphisme d'un même banc de pépérite. Ils ont été pris dans la partie de la montagne qui domine le grand ravin de Gergovia, à 15 mètres environ au-dessus de la première nappe de basalte (Pl. V, *fig.* 12).

Il est nécessaire d'en donner une description.

I. *Pépérite calcaire.* — Elle est friable, gris jaunâtre ou verdâtre, à odeur argileuse, présentant déjà des cellules, mais rares et petites. Elle contient des débris de roches volcaniques qui apparaissent très-bien après calcination. Elle ne fond pas à la chaleur rouge.

II. *Pépérite celluleuse.* — Elle est gris noirâtre, tacheté de jaunâtre. Elle est devenue lithoïde et entièrement méconnaissable. De nombreuses cellules la traversent, et dans leur inté-

rieur on voit des filaments indiquant des traces de fusion. La chaux carbonatée est cristallisée et tapisse les cellules. Par calcination au rouge, la roche fond en une scorie noire et légère.

III. *Pépérite celluleuse.* — Elle est noirâtre ou brunâtre et lithoïde. Ses cellules sont tapissées d'arragonite et de mésotype. Elle fond en une scorie noire par calcination. Son effervescence est très-faible. Elle est plus rapprochée du basalte que la roche précédente. Elle forme des amas dans la péperite, et si son gisement ne venait révéler son origine métamorphique, on la regarderait certainement comme une roche éruptive.

IV. *Pépérite celluleuse.* — Elle est brune, tachetée de blanc et très-difficile à briser. C'est une variété qui diffère peu de la roche précédente; mais elle est encore plus métamorphosée.

Indépendamment de ces quatre échantillons qui résultent du métamorphisme d'un même band horizontal de pépérite, j'en ai encore examiné deux autres qui forment les salebandes de l'un des filons transversaux de basalte. Leur position est indiquée par les chiffres V et VI sur la *fig.* 12 qui représente le ravin de Gergovia.

Ils proviennent toujours du métamorphisme de la pépérite; mais ils sont au contact immédiat du basalte; ils sont devenus extrêmement celluleux, et ils passent à un spilite scoriacé.

V. *Pépérite très-celluleuse* (*fig.* 12). — Elle ressemble beaucoup à IV. Sa couleur qui est brunâtre devient brun noirâtre par calcination. Elle est dure et tenace. Ses cellules sont très-contournées et tapissées par de l'arragonite (2).

VI. *Pépérite très-celluleuse* (*fig.* 12). — Elle est tellement celluleuse qu'elle est légère comme de la ponce. Ses cellules sont représentées par le croquis Pl. V, *fig.* 13 : elles sont arrondies, à peu près égales. Les cloisons qui les séparent sont

(1) Lecocq et Bouillet. *Vues et coupes du département du Puy-de-Dôme*, p. 186-195, 196.—Dufrénoy. *Annales des mines*, 2e série, t. VIII, p. 345 : Sur la relation des terrains tertiaires et volcaniques de l'Auvergne. — Sir Charles Lyell. *Manual of elementary geology*, 5e ed. p. 559-560.

minces, poreuses, et il s'y est formé des cellules plus petites. Leur intérieur est tapissé par une zone mince de zéolithe mamelonnée. Par-dessus, il y a quelquefois de la chaux carbonatée et de l'hydroxyde de fer. Cette roche a, du reste, une couleur gris jaunâtre qui devient gris noirâtre par calcination. Elle ne fond pas à la couleur rouge (1).

Pépérite celluleuse de Gergovia.

	I.	II.	III.	IV.
Densité	2,380	2,247	2,400	2,526
Acide carbonique	17,00	2,00	0,50	0,04
Eau	13,83	14,00	6,50	6,10
Résidu insoluble dans l'acide faible	71,05	54,78(*)	84,14	85.75

Pépérite très-celluleuse formant la salebande du basalte de Gergovia.

	V.	VI.
Densité	2,20	1,13
Acide carbonique	4,39	0,43
Eau	7,11	16,07
Résidu insoluble dans l'acide faible	68,95	65,87

Une pépérite, par cela même qu'elle renferme des fragments de diverses roches, présente toujours une composition très-inégale; aussi est-il assez difficile d'apprécier son métamorphisme. Quoi qu'il en soit, voici, d'après les essais qui précèdent, quelles sont les principales altérations que le basalte a fait subir à la pépérite calcaire de Gergovia.

Si l'on considère d'abord la densité de la pépérite celluleuse, elle paraît dépendre à la fois de la quantité

(1) Échantillon n° CLX de la collection Lecocq et Bouillet : *Vues et coupes*, etc., p. 195 et 196.

(*) Le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique est beaucoup plus faible pour l'échantillon II que pour les autres; cela tient sans doute à ce qu'il a été attaqué à chaud et peut-être aussi à ce que la pépérite n'est pas homogène.

d'eau et des cellules. Elle augmente à mesure que la proportion d'eau diminue; c'est au moins ce qui a lieu pour les quatre premiers échantillons qui appartiennent à un même banc. Elle diminue, au contraire, quand le nombre des cellules augmente; elle peut même se réduire à moitié lorsque la pépérite est très-celluleuse comme celle qui est à la salebande du basalte.

La pépérite devenue celluleuse a pris une couleur brune ou noirâtre, et un éclat un peu résineux; elle paraît être formée par une variété de palagonite.

L'eau se trouve en proportion très-variable dans la pépérite; cette proportion doit dépendre, en effet, de la quantité de palagonite et de zéolithes qu'il y a dans la roche métamorphique. On voit, du reste, qu'elle peut être plus petite dans la pépérite celluleuse que dans la pépérite normale.

Le calcaire diminue dans la pépérite celluleuse à mesure qu'on se rapproche du basalte; et même dès que les cellules deviennent bien visibles, il n'en reste plus du tout. Il y a cependant de la chaux carbonatée, même dans la pépérite la plus celluleuse; mais sa proportion est variable et elle atteint au plus quelques centièmes. Cette chaux carbonatée tapisse d'ailleurs les cellules; elle est cristalline et généralement à l'état d'arragonite.

Le calcaire décomposé par le basalte peut s'élever au tiers du poids de la pépérite. Cette circonstance explique donc très-bien la destruction des strates et le développement de la structure celluleuse dans la pépérite métamorphique.

On a déjà vu précédemment qu'une roche contenant du calcaire perd souvent de son acide carbonique au contact de roches trappéennes (p. 456, 461). Mais le gisement de Gergovia nous apprend de plus que cette

roche peut en perdre une très-forte proportion. L'action de la roche trappéenne a d'ailleurs été très-énergique, comme le démontre le développement de la structure celluleuse dans la roche calcaire métamorphosée.

Il est facile de se rendre compte du métamorphisme qui a été subi par la pépérite calcaire de Gergovia. Au voisinage du filon de basalte, son carbonate de chaux a été décomposé, et l'acide carbonique se dégageant avec la vapeur d'eau a nécessairement produit la structure celluleuse. En même temps, de l'eau chaude tenant en dissolution différentes substances, a réagi sur les sédiments volcaniques de la pépérite ; et, comme l'a fait voir M. Bunsen, elle les a plus ou moins métamorphosés en palagonite. De plus, de la chaux carbonatée, de l'arragonite et des zéolithes ont tapissé les cellules. Postérieurement il s'est encore formé des veines de calcaire siliceux et de quartz résinite. Au contact du basalte où l'action était plus énergique, la pépérite est devenue plus lithoïde, plus dure et surtout plus celluleuse. Ses cellules renferment aussi plus d'arragonite et de zéolithes. Tous les caractères de la pépérite métamorphique indiquent bien l'intervention de la chaleur et même une sorte de fusion ; mais M. G. Bischof a reconnu que le carbonate de chaux, mélangé à la silice, peut perdre son acide carbonique à la température de l'eau bouillante. En outre, la pépérite celluleuse contenant toujours de l'eau, et même jusqu'à 15 p. 100 lorsqu'elle est au contact du basalte, il est bien visible que l'eau a joué le rôle le plus important dans le métamorphisme. Elle a pénétré la roche qu'elle a rendue pâteuse, et par son intervention il s'est formé des hydrosilicates qui se sont durcis à la manière des mortiers. Par conséquent, la pépérite n'a pas éprouvé une fusion ignée, mais bien une fusion aqueuse.

Le métamorphisme de Gergovia montre comment

une roche sédimentaire peut prendre des caractères qui la rapprochent beaucoup d'une roche éruptive. Il montre aussi comment une roche argilo-calcaire devient celluleuse et se change en spilite au contact de roches trappéennes.

Mais il importe de bien remarquer qu'une roche argilo-calcaire devient souvent celluleuse loin du contact de toute roche éruptive. M. Scipion Gras l'a constaté pour les spilites des Alpes. Je l'ai observé moi-même pour les schaalstein du pays de Nassau, ainsi que pour les spilites intercalés dans le grès rouge et dans le terrain de transition des Vosges. Ces diverses roches ont pris une structure celluleuse et amygdalaire, bien qu'il n'y ait aucune roche trappéenne ou même éruptive qui soit visible dans leur voisinage. Elles passent, d'ailleurs, à des roches stratifiées, et elles n'ont généralement pas perdu leur calcaire, qui s'est seulement isolé dans des amygdaloïdes.

La formation de ces spilites appartient au métamorphisme normal ; elle doit être attribuée à une réaction mutuelle qui a séparé les parties argileuses des parties calcaires.

§ 121. *Structure vitreuse.*

— Les roches argileuses peuvent prendre une structure vitreuse au contact de roches trappéennes ; généralement alors elles passent au jaspe porcelanite, dont l'étude sera réunie à celle des autres jaspes. Souvent aussi les roches argileuses prennent une structure à la fois vitreuse et résineuse ; c'est ce dernier métamorphisme qui va nous occuper maintenant : il est d'ailleurs caractérisé par la formation d'une substance spéciale, la *palagonite*.

Palagonite.

Roches Trappéennes ou Volcaniques et Roches clastiques.

Dans ces derniers temps, la palagonite a fait l'objet d'un grand nombre de recherches qui sont dues surtout à MM. Sartorius de Waltershausen et Bunsen. Elle se

trouve habituellement dans les roches clastiques associées aux roches basaltiques et volcaniques. Elle y joue un rôle très-important et c'est sans doute ce qui a engagé à en distinguer plusieurs variétés, qui ont été nommées *korite*, *hyblite*, *notite*, *trinacrite* (1). Mais je ferai remarquer que toutes ces substances sont amorphes; qu'elles ont les mêmes propriétés physiques; que de nouvelles analyses donneraient, comme je m'en suis assuré, de nouvelles formules. Ce ne sont donc pas des espèces minérales définies, ce sont des roches. D'après cela, je les désignerai toutes d'une manière générale sous le nom de *palagonite*.

Les caractères de la palagonite sont d'ailleurs remarquablement constants pour une substance dont la composition est variable. Sa dureté varie de 4 à 5. Sa densité de 2,1 à 2,7. Elle a une couleur jaune, brune, brun-rouge ou noire; toutefois sa poudre est toujours jaunâtre. Elle est surtout bien reconnaissable à un éclat semi-vitreux ou résineux.

J'ajouterai qu'elle s'observe dans les roches trappéennes clastiques et que souvent même elle les forme entièrement. Ainsi elle a été signalée en Sicile, en Islande, aux îles Gallapagos, dans les monts Euganéens, à Wilhelmshohe dans la Hesse-Électorale et dans le duché de Nassau. Sir Charles Lyell l'a retrouvée aussi aux îles Canaries. J'ai constaté moi-même son existence dans les tufs trappéens de Carrick-à-Rede, en Irlande, et surtout dans un grand nombre de roches clastiques et volcaniques de l'Auvergne.

Les roches à base de palagonite sont essentiellement métamorphiques. Elles sont toujours au voisinage de

(1) Naumann. *Elemente der Mineralogie*, 4e édit., p. 470; Dana. *Mineralogy*, 4e édit., p. 166.

laves, de basaltes ou de trapps. Les roches clastiques desquelles elles proviennent ont généralement été cimentées et ont pris par cela même une structure lithoïde. Elle ont été pénétrées intimement par les minéraux qui remplissent habituellement les amygdaloïdes. Les zéolithes y sont surtout très-constantes. L'on peut même dire que la plupart des roches volcaniques clastiques et pauvres en silice qui ont été imprégnées de zéolithes, sont plus ou moins changées en palagonite. Il en est encore de même lorsque ces roches ont une structure celluleuse et que leurs cavités sont tapissées de zéolithes; c'est ce que nous avons constaté déjà en étudiant les pépérites de l'Auvergne qui ont pris par métamorphisme une structure celluleuse (§ 120).

— Certaines roches clastiques formées de débris microscopiques de roches volcaniques peuvent être complétement métamorphosées en palagonite. Je vais, en effet, en citer un exemple remarquable qui est bien propre à jeter du jour sur l'origine de la palagonite.

Sicile. — On trouve parmi les collections de Sicile une roche métamorphique très-bizarre dont l'aspect seul appelle immédiatement l'attention. Elle présente, en effet, des fossiles enveloppés dans une pâte qui est devenue lithoïde et qui paraît avoir été fondue; aussi lui donne-t-on le nom de *thermantide*. Ses fossiles sont tertiaires, très-nombreux et très-bien conservés. On y distingue notamment des cérites, des fuseaux, des lucines, etc.

Leur tet est formé par une chaux carbonatée parfaitement blanche, nacrée et opaline.

La variété de cette roche que j'ai examinée provenait des collections recueillies par M. Constant-Prévost; son étiquette portait même qu'elle se rencontre accidentellement parmi les déjections incohérentes de l'Etna.

Elle a une couleur brune très-foncée; mais quand on la pulvérise, elle devient brun jaunâtre. Sa cassure est esquilleuse et légèrement translucide. Elle a un éclat résineux et un peu vitreux. Sa densité est 2,187; elle est donc très-faible, comme cela a lieu pour les silicates qui sont hydratés et à l'état vitreux.

Lorsqu'on a soin de débarrasser la roche des fossiles qui y sont empâtés, on n'y trouve pas ou presque pas de carbonate de chaux; car, dans un essai, j'en ai obtenu seulement 0,10.

Elle est fortement hydratée.

Elle s'agglutine par une calcination au rouge vif.

J'ai recherché si elle contenait des sels immédiatement solubles dans l'eau. J'ai constaté que lorsqu'on la fait bouillir avec de l'eau, elle perd en grande partie son éclat et devient terne. L'eau de lavage évaporée à sec donne un résidu très-faible pesant 0,47; il est formé de 0,20 silice et silicates solubles, ainsi que de 0,15 chlorure consistant surtout en chlorure de sodium avec lequel il y a une trace de chlorure de potassium. Enfin il importe de remarquer qu'il y a aussi 0.12 d'une matière organique brun noirâtre. On retrouve ici du chlorure dont M. Ch. Deville a constaté la présence dans les produits actuellement rejetés par les volcans.

Quand on traite la roche que nous examinons par un acide, elle s'attaque immédiatement et d'une manière complète en donnant une gelée épaisse et transparente. La filtration de la silice ne s'opère qu'avec une grande lenteur.

Il n'y a d'ailleurs aucun résidu et la roche paraît être bien homogène et bien pure; on est donc dans des conditions aussi favorables que possible pour connaître exactement sa composition.

Voici le résultat de son analyse :

Palagonite de Sicile.

Silice	36,51
Alumine	12,64
Oxyde de fer	12,67
Oxyde de manganèse	0,34
Magnésie	8,35
Chaux	8,46
Soude	1,06
Potasse	0,64
Eau	19,30
Chlorure de sodium avec traces de chlorure de potassium	0,15
Matières organiques	0,12
Somme	100,24

Cette roche présente à peu près la composition et les caractères de la substance du Val di Noto, que M. S. de Waltershausen a nommée *Notite* (1). Je pense toutefois que sa composition n'est pas définie, et qu'on ne saurait la regarder comme une espèce minérale distincte ; c'est en réalité une variété de *palagonite*.

La palagonite que j'ai analysée diffère seulement de la palagonite type par une densité plus faible et par une plus grande quantité d'eau.

Son gisement à l'Etna rendrait d'ailleurs très-vraisemblable l'hypothèse proposée par M. Bunsen pour expliquer sa formation. Tout indique, en effet, que la palagonite résulte de l'action exercée par la vapeur d'eau et par les bases qu'elle tenait en dissolution, sur des roches clastiques dans lesquelles il y avait des débris de roches volcaniques.

J'observerai, cependant, que si ces roches contiennent

(1) Dana. *A system of mineralogy*, 4e éd., p. 166.

souvent du pyroxène, la palagonite elle-même ne saurait aucunement être considérée comme une altération du pyroxène, seulement elle s'est ordinairement formée aux dépens de roches qui en renferment, ou plus généralement aux dépens de roches trappéennes et volcaniques pauvres en silice.

Enfin je remarquerai encore que la parfaite conservation des fossiles dans la palagonite analysée, démontre que le métamorphisme a eu lieu à une température très-inférieure à celle de sa fusion ignée; de plus, il est visible que cette palagonite a simplement été cimentée et qu'elle n'a même pas éprouvé une fusion aqueuse.

— Les roches argileuses prennent très-souvent la structure jaspée au contact des roches trappéennes. Il en résulte alors une grande variété de roches métamorphiques que je désignerai d'une manière générale sous le nom de *Jaspes*. § 122. *Structure jaspée* *Jaspes.*

Toutes ces roches ont conservé plus ou moins les traces de leur stratification, qui est indiquée par des veines parallèles. Elles sont compactes, esquilleuses, dures, à cassure conchoïde. Leurs couleurs sont très-variées et généralement vives.

On regarde ordinairement les jaspes comme des roches uniquement siliceuses; cela tient sans doute à quelques-unes de leurs propriétés et notamment à leur dureté; mais bien qu'ils soient quelquefois très-riches en silice, tous ceux que j'ai examinés renfermaient constamment une certaine proportion de bases, et en particulier de l'alumine et des alcalis. On verra, d'ailleurs, que l'argile, l'argilithe, le schiste, le grès argileux peuvent être métamorphosés en jaspes. Il est donc facile de comprendre que la composition chimique des jaspes est extrêmement variable; elle ne peut avoir d'autres

limites que celles du schiste argileux ou des roches argileuses elles-mêmes.

De même que les porphyres, tous les jaspes n'ont, pour ainsi dire, qu'un caractère commun qui est tiré de leur structure. Ils se sont produits dans des circonstances très-différentes, et leurs propriétés sont loin d'être les mêmes : aussi me paraît-il nécessaire d'en distinguer deux espèces : 1° le jaspe-porcelanite; 2° le jaspe proprement dit.

Autant que possible, je chercherai comme précédemment à graduer les phénomènes de métamorphisme qui ont produit les jaspes et je vais commencer par le jaspe-porcelanite, qui se distingue complétement de tous les autres par sa structure vitreuse.

§ 123. *Jaspe porcelanite.*

1° *Jaspe porcelanite.* — Près du contact des roches trappéennes, l'on observe souvent une roche qui a depuis longtemps frappé l'attention des géologues : elle a reçu le nom de *porcelanite* ou de *jaspe-porcelanite*, à cause de ses caractères qui la rapprochent du jaspe et jusqu'à un certain point de la porcelaine. L'on admet même qu'elle a subi comme la porcelaine une cuisson par laquelle elle a été en partie vitrifiée.

Le jaspe-porcelanite a été signalé sur divers points de l'Allemagne, notamment dans la Saxe, dans la Hesse, à Hoher-Parkstein en Bavière, à Warbourg sur la Diemel, à Unkel sur le Rhin et dans le Siebengebirge, dans l'Eifel, à Sasebuhl près Dransfeld, à Waltersdorf, à Hutberg et à Gabel en Bohême (1).

En France, il a été observé à la côte d'Essey, aux environs du Puy en Velay, à Loitte, dans la vallée des Enfers, au Mont-d'Or.

(1) Von Leonhard. *Die Basaltgebilde.*

Généralement il se trouve au contact du basalte auquel il est associé; aussi le nomme-t-on souvent *jaspe basaltique* (*basalt-jaspis*). En Allemagne, il a encore reçu le nom de *Systyl.*

Le jaspe-porcelanite, quelle que soit son origine, est incontestablement métamorphique; il importe donc de l'étudier et de faire connaître les métamorphoses éprouvées par les roches qui lui ont donné naissance.

Basalte et Roche argileuse.

Siebengebirge. — Sur les bords du Rhin, dans le Siebengebirge, le basalte empâte des fragments de grès argileux et de schiste. A Goldkiste, ces fragments ont même une structure prismatique bien caractérisée (1).

De plus on y rencontre souvent du jaspe-porcelanite (*Basalt-jaspis*), notamment à Rolandseck et à Godesberg. Il est d'ailleurs facile de se rendre compte de sa présence; car le basalte du Siebengebirge traverse les schistes anciens des bords du Rhin, et le jaspe-porcelanite résulte d'une métamorphose des roches argileuses par le basalte.

Fulda. — Au Calvaire, près de Fulda, un grès argileux se montre en nombreux fragments empâtés dans le basalte. Tantôt ces fragments sont prismatiques, tantôt ils ont une cassure irrégulière. Ils sont formés par un jaspe-porcelanite veiné parallèlement aux strates. Sa couleur varie du gris au brun, au rouge et au noir. Il a un éclat presque vitreux, et sa cassure est légèrement conchoïde. Près des bords des fragments, il se fond dans la pâte du basalte et il passe à un verre qui est brun verdâtre ou vert de bouteille (2).

Pflasterkaute. — A Pflasterkaute, près de Fœrtha,

(1) H. von Dechen. *Geognostiche Beschreibung des Siebengebirges am Rhein*, p. 111.

(2) Gutberlet. *Einschlusse in dem Basalte des Calvarienberges : Neues Jahrbuch*, 1853, p. 661.

dans le gisement qui a déjà été décrit, le basalte traverse le grès bigarré, et il a métamorphosé en jaspe-porcelanite les veines d'argilithe qui y sont intercalées (p. 239).

J'ai examiné un échantillon de cette argilithe métamorphique qui provenait des collections de M. Boué.

Elle avait bien perdu sa couleur rouge, mais elle avait pris seulement une teinte gris violâtre. En outre, elle était un peu douce au toucher, bien qu'elle fût devenue dure et pierreuse. J'ai trouvé pour sa densité... 2,500. Elle contenait... 5,60 p. 100 d'eau.

Cette argilithe de Pflasterkaute représente un premier degré du métamorphisme en jaspe-porcelanite : elle commence déjà à y passer, bien qu'elle n'ait pas encore sa couleur noire et son éclat vitreux.

Basalte et Argilithe.

Stoffels Kuppe. — Le basalte du Stoffels Kuppe empâte des fragments d'une roche argileuse appartenant sans doute au grès bigarré (p. 277). Cette roche a été métamorphosée en un jaspe porcelanite qui n'est pas très-bien caractérisé; cependant elle a déjà pris une couleur noirâtre, et elle ressemble même au basalte. Sa cassure est conchoïde et grenue. La stratification reparaît dans les échantillons altérés à l'air, et elle est indiquée par des veines blanchâtres; mais la structure arénacée est indiscernable. Sa densité est ...2,564. Sa proportion d'eau est de ...3,80. Les veines bleuâtres qui sont parallèles à la stratification s'attaquent par l'acide chlorhydrique bouillant et donnent de la silice floconneuse.

Blaue Kuppe. — J'ai déjà signalé antérieurement les métamorphoses du grès bigarré du Blaue Kuppe, près d'Eschewège (p. 254); mais ce grès contient des couches d'argilithe rouge qui ont éprouvé des métamorphoses non moins remarquables.

En effet, l'argilithe a pris une couleur noire ou bleuâtre. Elle est devenue lithoïde, très-compacte et beaucoup plus dure que le feldspath. Sa cassure est conchoïde et très-esquilleuse. Elle a un éclat semi-vitreux ; elle s'est changée complétement en jaspe-porcelanite.

Il m'a paru qu'il y aurait de l'intérêt à faire une analyse de ce jaspe-porcelanite dont l'origine est bien connue. L'échantillon sur lequel j'ai opéré provenait du côté nord du Blaue Kuppe où il avait été recueilli par M. Boué. Sa densité est... 2,611. Lorsqu'on le calcine fortement, il se fritte, mais très-légèrement ; il prend une couleur brun noirâtre, montrant qu'il est riche en fer.

Sa couleur noire n'est pas due à une matière organique ; elle tient sans doute à ce que l'oxyde rouge de fer a été réduit à l'état de protoxyde et à ce qu'il est entré en combinaison avec le silicate.

Cette réduction de l'oxyde de fer s'observe dans l'argilithe aussi bien que dans les grès, dans les minerais de fer et en général dans toutes les roches qui ont été traversées par le basalte (§ 39, 90, 111).

Le jaspe-porcelanite de Blaue Kuppe ne contient pas de carbonate ; je n'en ai pas trouvé non plus dans aucun des jaspe-porcelanites que j'ai examinés. C'est donc un fait général, et il importe de le signaler ; car il est visible que les carbonates de la roche argileuse normale ont dû être détruits par la métamorphose en jaspe-porcelanite.

La perte au feu du jaspe-porcelanite de Blaue Kuppe est de... 3,25 : elle est uniquement due à de l'eau ; par conséquent, bien que le jaspe-porcelanite soit semi-vitreux, il est certain qu'il est formé par un verre hydraté.

Jaspe porcelanite de Blaue Kuppe.

Silice	59,13
Alumine	21,98
Protoxyde de fer	6,60
Chaux	0,53
Magnésie	2,50
Potasse et soude (diff.)	6,01
Eau	3,25
	100,00

Le jaspe-porcelanite de Blaue Kuppe a une composition assez exceptionnelle, car il est pauvre en silice et, au contraire, très-riche en alumine. Constatons cependant qu'il contient beaucoup d'oxyde de fer et d'alcalis.

Il importe de remarquer qu'en général, les caractères physiques du jaspe-porcelanite sont beaucoup plus constants que sa composition chimique; et il est d'ailleurs facile de le comprendre, puisque cette composition doit nécessairement varier avec celle de la roche argileuse originaire.

Essey. — Je passe maintenant à l'étude du jaspe-porcelanite de la côte d'Essey, dont le gisement est aussi très-intéressant.

Dans les sondes pratiquées à la partie supérieure de cette montagne basaltique, MM. Levallois et Lebrun ont reconnu que le jaspe-porcelanite se trouve au contact immédiat de la roche éruptive. A une distance 2 mètres environ, la roche de laquelle il résulte est à peu près à l'état normal, et son examen montre qu'elle appartient au grès moyen du keuper.

C'est un psammite ou un grès schisteux formé d'argilithe et de mica. Il a un grain fin et rude au toucher. Sa couleur est gris-jaunâtre légèrement verdâtre.

A mesure qu'on s'approche d'un petit filon de basalte grenu, au contact duquel il se change en jaspe-porcélanite, on voit son grain disparaître peu à peu. Il

devient sonore, fragile et dur. Il est encore schisteux, mais sa cassure est esquilleuse. En même temps des veines bleuâtres, grises, puis noires, se dessinent parallèlement à sa stratification; il se change en jaspe.

Enfin, près du contact avec le basalte, les veines noires se rapprochent de plus en plus, et le grès schisteux finit même par se transformer en une roche noire, à éclat lustré et semi-vitreux, qui est dure, compacte, sonore et homogène : cette roche est alors le jaspe-porcelanite bien caractérisé.

Toutes ces roches métamorphiques sont brisées et fragmentaires. Leurs fissures contiennent de l'hydroxyde de fer, de l'hydroxyde de manganèse, de l'argile, du fer phosphaté bleu, quelquefois aussi de la chaux carbonatée, de l'arragonite, de la dolomie, du quartz et divers sulfures métalliques.

Par altération, ces roches métamorphiques et jaspées prennent une couleur rouge ou brune qu'elles doivent à de l'oxyde de fer combiné. Leurs couleurs sont extrêmement variées; elles présentent généralement toutes les nuances entre le noir et le rouge vif; elles passent aussi au bleu, au jaune et au vert.

Il m'a paru intéressant de comparer la densité du grès schisteux normal, du jaspe-porcelanite et des jaspes intermédiaires. J'ai déterminé en même temps leur proportion d'eau.

I. *Grès argileux.*— Il est à peu près à l'état normal. Sa couleur est gris verdâtre. Ses fissures sont tapissées de dolomie. Il contient beaucoup de paillettes de mica blanchâtre. Il est tendre et peu cohérent. Des veines fines et très-rapprochées indiquent sa stratification. Dans la calcination il se fritte à la température rouge; par conséquent il est facilement fusible, même lorsqu'il n'est pas métamorphosé.

II. *Grès jaspé.* — Il est blanchâtre, veiné de gris, dur et fra-

gile. Sa cassure est esquilleuse. Il est encore rugueux. La structure arénacée s'y distingue très-bien dans les parties blanchâtres, mais elle a disparu dans les veines grises. L'échantillon a été pris à $1^m,50$ environ du basalte.

III. *Jaspe.* — Il est fortement veiné de gris noirâtre, dur et sonore; de plus, il est lustré, semi-vitreux dans certaines parties, et son grain est indiscernable. Il donne encore par insufflation l'odeur argileuse. Il a été pris à une moindre distance du basalte. Quand on le calcine, il devient gris brunâtre et il fond suivant les veines grises qui sont les plus riches en alcalis.

IV. *Jaspe porcelanite.* — Il a une belle couleur noire bien uniforme, un éclat vitreux et résineux. Il est tout à fait compacte. Sa cassure est esquilleuse et conchoïde. La structure arénacée et schisteuse y a complétement disparu. Il se fritte à la chaleur rouge et conserve sa couleur noire après calcination. Il a été pris auprès du basalte.

	I.	II.	III.	IV.
Densité . .	2,536	2,519	2,516	2,451
Eau	3,25	5,20	3,90	4,70

On voit que dans le grès argileux normal la densité est plus grande que dans le grès métamorphique.

La densité est la plus petite dans la roche changée en jaspe-porcelanite : il est d'ailleurs facile de s'en rendre compte, si l'on observe que la roche est alors à l'état vitreux, et qu'elle ressemble beaucoup au rétinite.

Quant à la proportion d'eau, elle est toujours plus grande dans la roche métamorphique que dans la roche normale.

Je remarquerai ici que la présence de l'eau dans le jaspe-porcelanite démontre bien qu'il ne provient pas, comme on l'admet généralement, d'une simple calcination d'une roche argileuse qui aurait été vitrifiée par la chaleur.

Pour me rendre compte du métamorphisme qui a produit le jaspe-porcelanite, il m'a paru nécessaire d'étudier plus complétement cette roche et de recher-

cher sa composition, qui jusqu'ici n'a pas encore été déterminée.

— J'ai constaté que le jaspe-porcelanite d'Essey attaqué par l'acide chlorhydrique laisse un léger résidu noirâtre qui disparaît par le grillage; ce résidu est donc formé par une matière charbonneuse qui donne au moins en partie à la roche sa couleur noire.

Traité par l'eau bouillante, le jaspe-porcelanite laisse dissoudre une trace de chlorure. Il s'attaque incomplétement par l'acide chlorhydrique; mais la liqueur acide prend immédiatement une couleur verte foncée montrant que le fer est à l'état de protoxyde. Quand il est altéré par l'action de l'air, la couleur passe du noir au rouge. Comme toujours, il contient plusieurs centièmes d'oxyde de fer.

J'ai fait bouillir, environ pendant une heure, de la potasse au dixième avec du jaspe-porcelanite porphyrisé; j'ai constaté qu'il s'attaque légèrement et que la proportion dissoute est seulement de... 3,32.

Jaspe porcelanite d'Essey (IV).

Silice	63,75
Alumine	16,96
Protoxyde de fer.	5,28
Protoxyde de manganèse.	traces.
Chaux.	0,76
Magnésie	2,03
Soude.	3,70
Potasse	3,43
Eau.	4,57
Somme	100,48

Le jaspe-porcelanite d'Essey provient du métamorphisme d'un grès argileux; par conséquent il a de l'analogie avec le kieselschiefer, avec la lydienne et avec le jaspe proprement dit. D'un autre côté, il se rapproche

aussi du rétinite ou *pechstein* par l'ensemble de ses caractères.

Le jaspe-porcelanite (IV) dont je viens de faire connaître la composition se trouve très-près du basalte : aussi est-il disloqué, et comme son métamorphisme est très-complet, il serait difficile de préciser la couche même qui lui a donné naissance; toutefois il provient bien certainement d'un grès argileux.

Pour s'en convaincre, il suffit d'étudier les roches I, II, III. On voit, en effet, qu'elles appartiennent à un même banc de grès argileux. De plus, on y suit pas à pas tous les progrès du changement en jaspe-porcelanite.

Afin d'apprécier avec certitude les modifications chimiques survenues, il m'a donc paru nécessaire d'essayer le grès argileux I, le grès jaspé II, le jaspe III, et de les comparer au jaspe-porcelanite IV.

	I.	II.	III.
Silice	70,55	69,05	66,75
Alumine et Oxyde de fer.	21,25	21,05	21,05
Chaux	2,65	0,55	1,05
Magnésie	0,61	0,70	0,83
Alcalis et perte (diff.) . .	1,69	3,45	6,42
Eau	3,25	5,20	3,90
	100,00	100,00	100,00

Plusieurs faits importants ressortent de ces analyses : d'abord, lorsqu'un grès argileux est métamorphosé en jaspe-porcelanite, sa teneur en silice n'augmente pas, comme on l'admet généralement, mais, au contraire, elle diminue. La silice éliminée est remplacée par des bases, notamment par de l'oxyde de fer et surtout par des alcalis. L'oxyde de fer contribue sans doute à donner une couleur foncée. C'est d'ailleurs aux alcalis que le jaspe-porcelanite doit l'éclat lustré et demi-vitreux qui le caractérise.

A Essey, la proportion de silice éliminée est très-

notable ; car si l'on compare le grès argileux I avec le jaspe-porcelanite IV, elle s'approche de 7 p. 100. La proportion d'alcalis gagnée s'élève d'ailleurs à 5,44.

En général, la densité d'une roche silicatée est d'autant plus grande qu'elle est plus basique ; on peut donc s'étonner que la densité du jaspe soit moindre que celle du grès argileux. Mais il faut remarquer que le jaspe-porcelanite est à un état semi-vitreux : ce qui tend à diminuer sa densité.

Enfin j'observerai aussi que le jaspe-porcelanite diffère complétement, par l'ensemble de ses caractères, de toutes les roches siliceuses ou argileuses qui ont été métamorphosées au contact des roches trappéennes. Et, tandis que sa teneur en silice a notablement diminué, on a vu qu'elle peut quelquefois augmenter dans certaines roches métamorphiques (p. 255).

D'un autre côté, cependant, le jaspe-porcelanite et le grès métamorphique imprégné de zéolithes sont souvent associés dans le même gisement ; c'est notamment ce que l'on observe à Essey, à Blaue Kuppe, à Wildenstein : les grandes différences que ces roches métamorphiques présentent entre elles, doivent donc tenir surtout à leur composition originaire.

Les diverses analyses du jaspe-porcelanite montrent d'ailleurs qu'il a une composition variable ; et il devait en être ainsi, puisque ce n'est pas un minéral défini. Il se rapproche toujours plus ou moins de la roche normale qui lui a donné naissance ; mais, quelle que soit son origine, il a des caractères constants qui sont impossibles à méconnaître, et qui accusent un même métamorphisme.

Si l'on cherche maintenant à expliquer comment une roche argileuse, et notamment le grès schisteux d'Essey, s'est changé en jaspe-porcelanite, voici de quelle

manière on peut s'en rendre compte. Au moment de l'éruption du basalte, il est vraisemblable qu'il s'est produit des infiltrations d'eaux chaudes et minérales. Leur existence est démontrée par le développement de la baryte sulfatée, des carbonates, des zéolithes, des sulfures métalliques et des minéraux des gîtes métallifères, qui s'observent dans les fissures des différentes roches enveloppant le basalte. Dès lors ces eaux qui contiennent des bases ont pu dissoudre de la silice dans les parties argileuses et introduire, au contraire, de l'oxyde de fer et des alcalis. Ces réactions se sont sans doute opérées sous une forte pression et à une température élevée.

L'association du jaspe-porcelanite avec des minéraux d'origine évidemment aqueuse, démontre donc qu'il n'est pas le résultat d'une action ignée proprement dite. Il ne serait pas exact de le comparer à la porcelaine et aux produits agglutinés par la chaleur seule. La composition et le gisement du jaspe-porcelanite, la nature des minéraux qui lui sont associés, font voir, au contraire, que l'action aqueuse a joué un rôle important, et même le rôle principal.

§ 124. *Analogie entre le jaspe porcelanite et la palagonite.*

— On a pu remarquer qu'il existe la plus grande analogie entre le jaspe-porcelanite et la palagonite.

En effet, ces deux substances contiennent de l'eau et sont à un état semi-vitreux; elles ont aussi la plupart de leurs caractères communs. Le jaspe-porcelanite est, il est vrai, beaucoup plus riche en silice, et il ne se laisse pas décomposer par les acides; mais, quoi qu'il en soit, il est possible que ces deux roches métamorphiques aient été produites de la même manière; dans ce cas, leurs différences tiendraient seulement à ce que la roche métamorphosée était clastique et trappéenne pour la palagonite, tandis qu'elle était argileuse et riche en silice pour le jaspe-porcelanite.

J'ai d'ailleurs fait observer que le jaspe-porcelanite se rapproche du rétinite par l'ensemble de ses caractères. Car il a une couleur noire, un éclat semi-vitreux, une cassure inégale et conchoïde. De plus, sa composition chimique à Essey est presque la même que celle du rétinite de la Sardaigne (1).

Cependant, le jaspe-porcelanite diffère complétement du rétinite par l'absence de cristaux de feldspath orthose et de mica. Quand on l'examine à la loupe, on retrouve même la structure sédimentaire de la roche qui lui a donné naissance. En outre, à Essey, il s'attaque beaucoup moins par la potasse que le rétinite; en sorte que la silice ne semble pas y être à l'état d'opale (2). Toutefois il ne me paraît pas impossible qu'à de grandes profondeurs cette roche métamorphique devienne plastique, et qu'elle forme alors des filons de rétinite.

On se rappelle que l'étude des roches siliceuses vitrifiées nous a déjà conduit à la même conclusion (p. 282). Par conséquent, il semblerait que le rétinite peut provenir de l'action que les roches trappéennes exercent dans l'intérieur de la terre sur les roches siliceuses ou sur les roches argileuses riches en silice.

2° *Jaspe.* — Le jaspe proprement dit comprend une multitude de variétés qui passent l'une à l'autre et qui peuvent se trouver réunies dans le même gisement. Il me suffira d'en distinguer deux : le jaspe tendre et le jaspe dur. § 125. *Jaspe.*

Le jaspe tendre a une dureté qui ne dépasse pas celle du feldspath; elle est inférieure à celle du jaspe le mieux caractérisé. Il peut s'agglutiner, ou même fondre au

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e sér., t. XI, 105. *Rétinite de la Sardaigne.*

(2) De l'action des alcalis sur les roches. (*Bulletin de la société géologique*, t. XI, p. 127).

chalumeau. Il provient du métamorphisme de roches argileuses riches en alumine, telles que l'argile, l'argilithe et le schiste. Il comprend la lydienne, et il correspond au *hornstein* de M. Naumann.

Le jaspe dur est celui qui est le plus connu et qui s'emploie dans les arts. Sa dureté est supérieure à celle du feldspath. Il ne fond pas au chalumeau. Il provient du métamorphisme des roches argileuses riches en silice, telles que les schistes siliceux, les grès schisteux. C'est le phthanite ou le kieselschiefer des minéralogistes allemands.

Jaspe tendre. — Je commence par décrire quelques gisements dans lesquels il s'est surtout formé du jaspe tendre au contact des roches trappéennes. Parmi ces jaspes il en est même, comme celui de Portrush, qui ont été imprégnés de zéolithes; en sorte qu'ils sont très-fusibles et qu'ils se laissent facilement attaquer par les acides.

Mélaphyre et Schiste houiller.

Schaumberg. — Au Schaumberg, près de Tholey, dans le Palatinat, le mélaphyre a fait subir des altérations profondes aux schistes du terrain houiller. Ces altérations ont été décrites avec beaucoup de soin par M. E. Jacquot, et je me suis proposé de rechercher la composition de ces schistes métamorphiques.

Je rappellerai d'abord que le Schaumberg est une montagne qui s'élève de 200 mètres au-dessus de la plaine. Elle est presque entièrement formée par un mélaphyre qui a traversé, sans les déranger, les couches du terrain houiller (Pl. V, *fig.* 8).

Mélaphyre. — Ce mélaphyre est noir brunâtre ou verdâtre. Il contient du labrador, de l'augite, du fer oxydulé. M. Bergemann y a trouvé aussi 9 p. 100 de carbonate de fer.

Schiste. — Le schiste houiller se montre en couches peu inclinées qui, à la base de la montagne, sont cou-

pées par la route de Tholey à Theley. Il a été recouvert par le mélaphyre dans lequel on le retrouve aussi en lambeaux. Bien qu'il ait été fortement altéré, et même jusqu'à plus de 20 mètres du contact, il n'a pas perdu sa stratification. Vers la partie supérieure de la montagne, un petit lambeau de ce schiste houiller est d'ailleurs transformé en un jaspe pétrosiliceux. Il se laisse facilement rayer par l'acier, mais il est devenu extrêmement tenace; aussi le préfère-t-on à tous les matériaux du pays, et a-t-on ouvert une carrière dans laquelle on l'exploite pour le chargement de la route (1).

J'ai examiné trois variétés du schiste houiller du Schaumberg qui en représentent les principaux degrés de métamorphisme. Ces trois variétés n'appartiennent pas à la même couche; elles se trouvent aux points marqués I, II, III sur la figure. Je décris leurs caractères, puis je donnerai les résultats de leur essai comparatif.

I. *Schiste.* — Il a une couleur rouge lie de vin ou lilas. Il tache les doigts et il est imprégné d'oxyde de fer. Il répand encore l'odeur argileuse. Par ses caractères, il participe à la fois de l'état pierreux et de l'état argileux.

II. *Schiste.* — Il est gris un peu brunâtre, légèrement veiné de noir comme le précédent. La stratification y est nette. Il est durci, mais il se laisse facilement rayer par l'acier. Sa cassure est esquilleuse et assez compacte. Il commence seulement à passer au jaspe.

III. *Schiste.* — Il est gris légèrement verdâtre, veiné de noir par des parcelles charbonneuses changées en anthracite. Il est très-dur et très-tenace. Sa cassure est compacte, fortement esquilleuse, à éclat un peu gras. Il est translucide sur les bords.

(1) E. Jacquot. *Etudes géologiques sur le bassin houiller de la Sarre*, p. 172.—Voir aussi : Steininger. *Geognostische Beichreibung des Landes zwischen Saar und Rhein*, p. 119,—Warmholz. *Karsten und von Dechen. Archiv..* t. X, p. 388.

Dans certaines parties, on distingue des taches grises qui paraissent provenir de grains de quartz et qui se fondent dans la roche. C'est le jaspe pétrosiliceux qui s'exploite pour l'entretien de la route (*fig.* 8).

Schistes du Schaumberg.

	I.	II.	III.
Densité	2,525	2,536	2,637
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique.	64,75	72,25	72,93
Silice	48,87	57,95	55,80
Alumine	21,80	22,75	24,55
Oxyde de fer	11,21	8,25	10,48
Magnésie	4,54		
Oxyde de manganèse	traces.	»	traces.
Chaux	1,25	0,85	0,70
Alcalis et perte (diff.)	0,93	0,58	5,01
Perte au feu	11,40	9,62	3,46
	100,00	100,00	100,00

Ces schistes métamorphiques du Schaumberg ont une densité d'autant plus grande qu'ils ont été plus métamorphosés en jaspe.

Lorsqu'on les fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique et qu'on calcine les résidus, on trouve que plus le schiste est changé en jaspe, moins il s'attaque par l'acide.

Tous ces schistes contiennent de l'eau et une trace d'acide carbonique qui fait dans l'acide une effervescence lente, mais ils renferment d'autant moins d'eau qu'ils sont plus métamorphosés.

Si l'on compare les schistes jaspés (II) et (III) avec le schiste argileux (I), on voit qu'ils diffèrent surtout de ce dernier en ce qu'ils contiennent plus d'alcalis, plus de silice, plus d'alumine, et au contraire moins d'eau, moins de fer et moins de chaux.

Toutefois il faut observer que les trois schistes du Schaumberg n'appartiennent pas à la même couche; leur composition dépend donc à la fois de leur état originaire et de leurs altérations; par suite, il est assez difficile de bien préciser quelles sont les modifications qui ont accompagné la formation du jaspe.

Lorsqu'il s'est produit du jaspe-porcelanite au contact d'une roche trappéenne, on a vu d'ailleurs que le métamorphisme est tout différent (§ 123).

Thuringerwald. — Le gisement de Lindenberg, dans le Thuringerwald, paraît avoir beaucoup d'analogie avec le précédent; car le schiste et le grès houiller y forment un lambeau isolé qui repose sur le mélaphyre. Insensiblement ils passent à des jaspes qui, d'après M. Credner, résultent visiblement de l'action de la roche trappéenne. Mélaphyre et Schiste houiller.

Iles à l'ouest de l'Écosse. — Le docteur Mac Culloch a fréquemment observé, dans les îles à l'ouest de l'Écosse le trapp en contact avec le schiste. Il annonce que ce dernier a généralement été métamorphosé en lydienne, c'est-à-dire en jaspe. Il suffira de citer comme exemple le promontoire sur lequel est bâti le château de Duntulm (1). Trapp et Schiste.

Inchkeith. — Le *hornstone* de l'île Inchkeith (Écosse) provient du métamorphisme d'une roche argileuse du terrain houiller. Il a une couleur noire, une cassure conchoïde, et il ressemble un peu au basalte (2). Trapp et Roche argileuse.

Ile Rathlin. — A Lyad, dans l'île Rathlin, sur la côte d'Irlande, on trouve encore des roches argileuses changées en jaspes. Elles ont une couleur noirâtre et Trapp et Roche argileuse.

---

(1) *A description of the western Islands of Scotland*, t. III, Pl. VI, p. 13.

(2) Necker de Saussure. *Voyage en Écosse*, t. I, p. 257 à 259.

elles sont habituellement désignées sous le nom de lydiennes.

Dolérite et Roche argileuse.

Fairhead. — A Fairhead, au nord-est de l'Irlande, il existe des jaspes qui proviennent du métamorphisme de roches argileuses du terrain houiller. Ils sont tendres, fusibles, très-compactes, à cassure esquilleuse. Leur couleur est grise, brunâtre, violacée ou noire. J'ai trouvé que l'un de ces jaspes, qui était d'un noir foncé et qui provenait de Culfeightrin, avait une densité de 2,744 et renfermait 4,35 d'eau. La roche qui a produit le métamorphisme est une dolérite, à très-gros cristaux d'augite, qui avait vraisemblablement une température élevée.

Dolérite et Schiste houiller.

Ballycastle. — Dans les houillères de Ballycastle, le grand dyke de dolérite (*greenstone*) nommé Garrick Mawr a fait sentir son influence sur le grès et le schiste houiller jusqu'à une distance de 15 mètres. De plus, il a métamorphosé en jaspe le schiste houiller qui se trouve à son contact. Il l'a rendu prismatique et quelquefois celluleux. Ce fait est d'autant plus intéressant à signaler que le jaspe et la dolérite de Ballycastle se retrouvent avec les mêmes caractères dans le célèbre gisement de Portrush. Le métamorphisme est donc le même, seulement il a été produit sur une échelle plus petite et sur des roches argileuses d'âges différents.

Jaspe zéolithique.
Dolérite et Marne du lias.

Portrush. — A Portrush, au nord-est de l'Irlande, on trouve une roche qui, au premier abord, semble être trappéenne et qui renferme cependant des fossiles très-bien conservés.

Les partisans de Werner, Kirwan, le docteur Richardson et Dubourdieu assimilèrent cette roche au basalte; ils conclurent alors de la présence des fossiles que le basalte avait une origine aqueuse et qu'il s'était formé au fond de la mer.

Les partisans de Hutton, sir James Hall, Playfair, Dolomieu soutinrent, au contraire, que la roche de Portrush avait été déposée au sein des eaux, puis modifiée par une action ignée.

A une époque plus récente, le gisement de Portrush a été étudié avec beaucoup de soin par MM. Conybeare, Buckland, Bryce, Oldham, mais surtout par M. Griffith et par le colonel Portlock (1). Je l'ai visité moi-même en 1852 et je vais le décrire sommairement : je chercherai ensuite quelles sont les altérations subies par la roche métamorphique de Portrush.

La base du promontoire sur lequel est bâtie la petite ville de Portrush est formée par un greenstone qu'on retrouve aussi dans les îles Skerries qui en sont voisines.

Sur ce greenstone repose une roche stratifiée fossilifère nommée tour à tour *chert*, *flintslate*, *siliceous-basalt*, *pseudo-basalt*, *porcelanite*, *thermantide*, *lydian-stone*, *hornstone*, *pétrosilex* et *jaspe;* elle participe, en effet, plus ou moins des caractères de toutes ces roches. Quoique sa structure veinée soit généralement assez confuse, je la désignerai sous le nom de jaspe; car on verra plus loin qu'elle présente bien les caractères du jaspe tendre et qu'elle est même imprégnée de zéolithes.

Le jaspe de Portrush plonge au nord-est dans le promontoire et au sud-est dans les îles Skerries. Il disparaît d'ailleurs sous la mer et sous les dunes; mais au sud-est de Portrush et à White-Rock, on rencontre le greensand, ainsi que la craie.

Les recherches de Playfair, Conybeare et Buckland

---

(1) Colonel Portlock. *Report on the geology of the country of Londonderry and of parts of Tyrone and Fermanagh.*

ont appris que le jaspe de Portrush doit être rapporté au lias. On y a trouvé, en effet, un grand nombre de fossiles, notamment des ammonites qui sont encore déterminables. Ces fossiles sont l'*ammonites intermedius*, l'*ammonites Macdonnelli*, des bélemnites, des peignes, des limes, des pholladomyes, des avicules, des unios. Ils ne diffèrent pas de ceux qu'on rencontre dans le lias marneux et normal de Ballintoy. En outre, M. Griffith a constaté que le lias bleu et marneux forme le fond de la mer entre les îles Skerries et la terre ferme.

La craie est d'ailleurs en stratification concordante avec le lias métamorphique.

L'épaisseur du lias de Portrush est seulement de 1 mètre à $1^m,30$ sur le côté ouest du promontoire et de 2 mètres à $2^m,70$ sur le côté est.

Entre le greenstone et le lias métamorphique, M. le colonel Portlock a signalé l'existence d'une roche de passage. Cette roche s'observe bien dans les îles Skerries. Elle participe du greenstone par sa structure cristalline et par les minéraux qu'on y observe. Elle renferme, en effet, de l'augite, et sir Robert Kane y a trouvé aussi une espèce de bronzite (1). Toutefois, elle a conservé un indice de stratification et elle doit être considérée comme du lias plus fortement altéré. On peut suivre le passage successif du greenstone à grands cristaux au greenstone grenu, puis au jaspe ou bien au schiste durci et encore fossilifère du lias.

Le lias métamorphique est d'ailleurs traversé par des fissures. Ces fissures sont d'autant plus nombreuses qu'on est plus rapproché du greenstone; et, comme nous allons le voir plus loin, elles ont été remplies par

(1) Colonel Portlock. *Report*, etc., p. 742.

le greenstone lui-même et par des zéolithes. Au contact des veines de greenstone qui le pénètrent, le lias est altéré et les deux roches se fondent quelquefois sur une petite étendue. Quant à la stratification, elle devient de plus en plus confuse à mesure qu'on se rapproche du greenstone.

Tel est le gisement du lias métamorphique de Portrush. La *fig.* 17, Pl. V, donne, du reste, une coupe théorique faite du nord-ouest au sud-est, suivant la longueur du promontoire de Portrush.

Il importe maintenant de décrire plus complétement les caractères du greenstone, du lias normal et du lias métamorphique.

Dolérite. — Le greenstone de Portrush présente une grande différence d'aspect avec le trapp qui couvre le nord-est de l'Irlande; mais cette différence est plus apparente que réelle; elle tient surtout à ce qu'il est plus cristallin et plus feldspathique.

Ce greenstone est ce que nous nommons en France une dolérite. Il est formé de labrador verdâtre en lamelles mâclées de plusieurs centimètres et d'augite vert noirâtre en beaux cristaux. On y distingue aussi du fer oxydulé et quelquefois du mica bronzé en lamelles qui atteignent 1 centimètre.

Il est d'ailleurs traversé par un grand nombre de zéolithes qui se ramifient et pénètrent intimement toute sa masse. Ces zéolithes sont la chabasie, la natrolithe, la mésotype, la mésole, l'harringtonite (mésolitine), l'heulandite, la stilbite, l'apophyllite, la laumonite, l'aluminite, la scoulérite (thomsonite), etc. Il y a aussi dans ces filons de la chaux carbonatée blanc jaunâtre et spathique, de la pyrite de fer, de la stellite et même du feldspath, ainsi que de l'augite en très-gros cristaux.

J'ai examiné un échantillon de dolérite que j'avais pris dans la grande carrière de laquelle on a extrait les pierres qui ont servi à construire la jetée de Portrush.

Cette dolérite contient 4,22 d'eau et elle laisse dans l'acide chlorhydrique un résidu de 75. Il importe d'observer qu'elle ne renferme pas de carbonate, bien qu'il y en ait habituellement dans les roches trappéennes. Elle forme d'ailleurs un immense dyke qui a soulevé le lias par lequel elle est encore recouverte (Pl. V, *fig.* 17).

On comprend donc que le dégagement de substances volatiles devait se faire plus facilement à la partie supérieure du dyke que sur ses parois latérales ; par suite, il n'est pas étonnant que le métamorphisme de contact s'observe ici sur plus d'un mille quarré d'étendue.

Lias normal. — Comme nous l'avons vu, on trouve le lias normal à Ballintoy et même dans le fond de la mer, tout près de Portrush.

Il est bleu, argileux, calcaire, et il se présente avec ses caractères habituels. M. Apjohn a fait une analyse de ce lias qu'il a attaqué par l'acide chlorhydrique (1).

Lias de Portrush.

Résidu argileux et Silice	56,90
Alumine	1,76
Oxyde de fer	7,43
Eau et perte	10,95
Carbonate de chaux	19,02
Carbonate de magnésie	3.94
	100,00

Les carbonates forment plus du cinquième de la roche normale ; or, nous allons voir qu'il n'y en a plus trace dans la roche métamorphique.

Lias métamorphique ou jaspe.—Le jaspe de Portrush

(1) Colonel Portlock. *Report*, p. 140.

se divise en fragments anguleux ayant quelquefois une structure prismatique ou pseudorégulière. Cette particularité a été cause que pendant longtemps on l'a considéré comme du basalte compacte. La dolérite qui le supporte alterne plusieurs fois avec lui et s'y ramifie en une multitude de petits filons.

En outre, on observe dans toute la masse du jaspe des veinules qui sont remplies par des zéolithes. Ces zéolithes sont souvent à l'état filamenteux. Elle se sont développées partout où il existait des cavités. Elles se montrent non-seulement dans le lias métamorphique et cristallin qui est le plus rapproché du trapp, mais aussi dans le jaspe au milieu duquel les fossiles ont été conservés. Il y en a jusque dans les vides laissés par les coquilles d'ammonites. On a même signalé de l'augite et du trapp cristallin dans le rostre d'une bélemnite. Les zéolithes du jaspe sont d'ailleurs les mêmes que celles de la dolérite; mais elles sont moins nombreuses. Je citerai spécialement : le mésole, qui est blanc grisâtre, translucide, mammelonné, à éclat soyeux, la chabasie, la stilbite, l'apophyllite.

L'apophyllite contient, comme l'on sait, du fluor; on comprend donc que le lias de Portrush étant pénétré par des matières fluorées ait dû perdre facilement ses caractères primitifs. Le mica dont j'ai signale l'existence dans la dolérite de Portrush montre, du reste, qu'elle était fluorée; en même temps il permet d'expliquer comment l'apophyllite a pu se développer dans la roche trappéenne et même jusque dans la roche métamorphique.

Les fissures de la roché métamorphique de Portrush renferment encore de l'arragonite qui toutefois est rare. On y trouve même de l'augite; il y en a notamment

dans la variété cristalline qui est au contact immédiat de la dolérite à laquelle elle passe.

Le jaspe de Portrush paraît homogène ; mais en l'examinant avec plus de soin, on reconnaît que cette apparence est trompeuse ; on y distingue, en effet, des veines, ainsi que des marbrures qui diffèrent par leur couleur et par leur dureté. C'est d'ailleurs ce qui se voit très-bien quand il a été exposé à l'action de l'air ; car il s'altère très-inégalement, en sorte qu'il devient carié et celluleux (Pl. V, *fig.* 18).

On peut remarquer dans le jaspe marbré et noirâtre des glandules allongées de couleur grise : elles me paraissent remplies par une matière zéolithique compacte ; car elles sont tendres, elles se frittent dans la calcination et elles s'attaquent très-facilement par l'acide chlorhydrique.

Le jaspe métamorphique de Portrush a une couleur noire ou grisâtre. Il est très-compacte, sonore, fragile, à cassure tranchante et conchoïde. Sur les bords, il est translucide. Son éclat est un peu gras, comme celui du pétrosilex (hornstone) ; il n'est pas vitreux comme dans la porcelanite.

Sa dureté est comprise entre celle du feldspath et des zéolithes. Il ne contient pas de carbonate de chaux ou seulement des traces.

J'ai déterminé la densité et la quantité d'eau de cinq variétés de ce jaspe :

	Densité.	Eau.
I. Gris bleuâtre, dur, à cassure très-esquilleuse.	2,836	1,35
II. Noir, dur, à cassure très-esquilleuse	2,711	1,20
III. Noir, enveloppant un rostre de bélemnite. .	2,680	2,52
IV. Noir, avec une bélemnite, de Ballywillin. .	2,610	3,05
V. Gris noirâtre, marbré	2,613	3,88

La densité du jaspe de Portrush est assez élevée ; elle varie à peu près en sens inverse de la proportion d'eau

qu'il renferme. Quand il a une couleur pâle et grisâtre, sa densité est généralement faible, et il contient plus d'eau; il est donc probable qu'il s'y trouve alors plus de zéolithes.

Toutes les variétés que j'ai examinées avaient au moins 1 p. 100 d'eau.

Il fond facilement, mais inégalement, à la température du rouge. Dans les parties les plus fusibles, il se produit un verre blanc, très-bulleux et il s'opère une sorte de liquation.

Quand on le traite par l'acide chlorhydrique, il s'attaque fortement, eu égard à la proportion de silice qu'il renferme; il laisse alors un résidu blanchâtre pesant 76,75. Toutefois, comme il ne fait pas gelée avec l'acide, il est probable que les zéolithes, si bien caractérisées dans les fissures du jaspe, ne sont cependant pas complétement formées dans sa pâte.

Avec l'acide chlorhydrique, le jaspe donne un dégagement très-sensible d'hydrogène sulfuré indiquant qu'il contient un sulfure. Il y a certainement de la pyrite magnétique qu'on peut enlever avec le barreau aimanté et qui se montre même en nodules assez gros. On retrouve donc ici cette pyrite qui est si fréquente dans les roches métamorphosées par les roches trappéennes.

Il y a aussi de la pyrite de fer (sperkies); elle forme ordinairement des dendrites qui tapissent les vides laissés libres par les ammonites.

Dans l'échantillon dont on trouvera plus loin l'analyse, j'ai constaté qu'il y avait seulement 0,59 p. 100 de soufre.

Le jaspe perd d'ailleurs sa couleur noire lorsqu'on l'attaque par l'acide, et si l'on emploie l'acide nitrique, il donne même des vapeurs rutilantes : cette couleur

n'est donc pas due à une matière charbonneuse, mais à du sulfure de fer disséminé en parcelles très-fines.

M. le professeur Th. Andrews a constaté aussi que lorsqu'on traite le jaspe de Portrush par le sulfate de cuivre, il réduit un peu de cuivre à l'état métallique. D'un autre côté, je me suis assuré que la pyrite magnétique, mise dans une dissolution de sulfate de cuivre, neutre ou acidifiée par l'acide chlorhydrique, ne donne pas lieu à un dépôt de cuivre.

J'ai analysé le jaspe gris noirâtre V, dont la densité est... 2,613, et sur lequel on observe encore des empreintes bien distinctes d'ammonites.

Jaspe de Portrush.

Silice	57,45
Alumine	17,41
Protoxyde de fer	8,55
Oxyde de manganèse	traces.
Chaux	4,63
Magnésie (diff.)	2,05
Soude	2,34
Potasse	3,69
Eau et perte au feu	3,88
	100,00

Le jaspe de Portrush ne renferme plus de carbonate; on a vu cependant qu'il y en avait dans le lias duquel il provient; par conséquent les carbonates ont été détruits dans le métamorphisme. Ces carbonates ont d'ailleurs disparu lentement; car j'ai constaté que le rostre calcaire des bélemnites a été remplacé par une pâte pétrosiliceuse qui a conservé la même structure.

Quant à la chaux, elle n'a pas été enlevée complétement; une partie au moins paraît être restée dans le jaspe; elle s'est combinée avec la silice, et elle entre dans la composition d'un hydrosilicate.

Si l'on admet que le lias normal de Portrush ne contienne que peu ou point d'alcalis, ainsi que cela semblerait résulter de l'analyse de M. Apjohn, on voit que le lias métamorphique en aurait gagné, puisqu'il en renferme environ 6 p. 100.

Il me paraît surtout très-remarquable qu'il s'y trouve une aussi grande quantité de potasse. Cette circonstance est sans doute en relation avec l'existence de l'apophyllite, qui s'observe non-seulement dans la dolérite, mais aussi dans le lias métamorphique; car on sait que l'apophyllite est une zéolithe à base de potasse $KO,2SiO^3 + 8(CaO,SiO^3) + 16HO$.

La teneur en silice du jaspe de Portrush n'est pas aussi grande qu'on pourrait le croire d'après le nom de schiste siliceux (*flintslate*) qui lui est donné dans plusieurs ouvrages. Toutefois elle est supérieure à celle du basalte, et c'est d'ailleurs ce qui se reconnaît à première vue. Aussi les partisans de Werner, qui le considéraient comme du basalte, admettaient-ils que ce basalte était très-siliceux (*siliceous basalt*).

La proportion de silice que renferme la roche métamorphique de Portrush est, du reste, très-peu élevée pour un jaspe; cependant elle est plus grande que celle qui est habituelle à l'argile.

Si l'on compare ce jaspe de Portrush à celui d'Essey, on trouve qu'il en diffère non-seulement par sa composition chimique, mais encore par ses propriétés physiques (p. 483). Car, tandis que le jaspe porcelanite d'Essey a un éclat vitreux et ressemble au rétinite, le jaspe de Portrush a un éclat gras ou pétrosiliceux, et il est imprégné de zéolithes. Ces différences entre les deux roches tiennent non-seulement à ce que leur composition originaire n'était pas la même, mais vraisemblablement aussi à des variations dans les phé-

nomènes de métamorphisme qui les ont produites.

Cependant il faut remarquer que la composition élémentaire de ces deux jaspes n'est pas très-différente ; et même celle du jaspe-porcelanite de Blaue Kuppe forme en quelque sorte la transition (p. 480). En outre, le jaspe-porcelanite est aussi accompagné par des zéolithes qu'on trouve, par exemple, en grande abondance à la côte d'Essey. Il est donc facile de concevoir que les jaspes porcelanite et zéolithique puissent passer l'un à l'autre et se trouver réunis dans le même gisement.

En résumé, le lias métamorphique de Portrush a été soulevé et complétement imbibé par ùn énorme dyke, qui est venu s'y intercaler. Ce dyke est formé par une dolérite très-cristalline qui est extrêmement riche en zéolithes. A son contact, le lias a pris la structure cristalline; il a été brisé et traversé par des filons de la roche éruptive. Jusqu'à une grande distance, il a lui-même été pénétré par des veines nombreuses contenant des zéolithes. Toutefois il est compacte; il a conservé en partie sa stratification et même ses fossiles.

Ce métamorphisme du lias doit être attribué à sa pénétration par la roche éruptive et surtout par les zéolithes. Les réactions chimiques qui se sont produites au moment de l'éruption de la dolérite ont dû être assez complexes ; toujours est-il que le carbonate de chaux a disparu et que des zéolithes se sont formées dans le lias.

La présence de l'augite noir des volcans indique, il est vrai, un grand développement de chaleur; mais, d'un autre côté, les zéolithes démontrent l'intervention de l'eau ou de vapeurs aqueuses. D'ailleurs, on trouve toujours de l'eau dans le jaspe fossilifère de Portrush, et ce sont les zéolithes qui, en pénétrant toutes ses fissures, ont contribué le plus à son métamorphisme. Les caractères de ce jaspe de Portrush indiquent donc

qu'il résulte d'une action à la fois ignée et aqueuse.

— Je passe maintenant à l'étude du jaspe dur qui s'est formé au contact des roches trappéennes. *Jaspe dur.*

Ce jaspe peut s'observer dans les mêmes gisements que le jaspe tendre, et il n'existe même pas de démarcation tranchée entre les deux roches. La différence qu'elles présentent paraît tenir à l'intensité et à la nature du métamorphisme, mais surtout à la composition originaire des couches argileuses desquelles elles dérivent.

D'après cela, il faut chercher le jaspe dur au contact des roches trappéennes et des roches argileuses riches en silice, telles que les schistes siliceux, les grès schisteux. Et, en effet, les roches argilosiliceuses du terrain silurien de l'Angleterre ont souvent été métamorphosées en jaspe dur par les roches trappéennes.

Pays de Galles. — A Longmyndd, dans le pays de Galles, les grès rouges argileux ont été changés en jaspe par le trapp du terrain silurien. A Trafgarn, le schiste silurien a de même été changé en jaspe (Pl. VI, *fig.* 1). **Trapp et Roches argilo-siliceuses.**

C'est à Sir Roderick Murchison qu'on doit l'observation de ces curieuses métamorphoses qui sont très-fréquentes dans le terrain silurien de l'Angleterre. Il les a décrites dans des ouvrages devenus classiques, auxquels je me contenterai de renvoyer le lecteur (1). Je remarquerai seulement que la formation des jaspes n'est pas toujours être limitée au contact des roches trappéennes, et qu'elle peut être complétement indépendante de ces roches.

Tyrol. — Au col de Campagnosco, entre le vallon de Monzoni et celui de San Pellegrino, dans la vallée de la Fassa, M. É. de Beaumont a constaté que le grès bigarré a été durci près de son contact avec une hypérite. J'ai **Hypérite et Argilithe siliceuse.**

(1) *The Silurian system*, by R. I. Murchison. — *Quarterly Journal of geology society*, t. II, p. 45.

examiné une argilithe siliceuse intercalée dans ce grès et prise au contact immédiat. Elle est grise légèrement verdâtre ou quelquefois rougeâtre. Elle a une structure jaspée, et suivant les veines de grès, elle est encore arenacée. Sa cassure est compacte et esquilleuse. Elle est très-dure et elle raye le verre avec facilité. Sa densité est... 2,632. Elle renferme seulement... 1,17 d'eau. Tous les caractères de cette roche argilo-siliceuse du grès bigarré montrent qu'elle a été métamorphosée en jaspe dur.

— Le jaspe dur est souvent employé pour la décoration, et l'on recherche tout spécialement celui qui est le plus dur ou le plus riche en silice; car il prend très-bien le poli, et il est complétement inaltérable. C'est surtout dans l'Oural et en Toscane qu'il s'exploite pour les besoins de l'industrie; or, on va voir que dans ces gisements il s'est formé au contact de roches trappéennes (1).

Porphyre augitique ou hyperstbénique et Schiste.

Oural. — Le jaspe de l'Oural, qui est très-estimé pour la décoration, a été étudié par M. G. Rose (2). A Orsk, il repose sur un porphyre augitique. Plus loin, il est recouvert par une hypérite qui se divise en sphéroïdes. C'est d'ailleurs un schiste argileux métamorphique, comme il est facile de le voir d'après l'analyse qu'en a faite M. Avdeeff.

Silice	79,51
Alumine	9,24
Protoxyde de fer.	3,32
Chaux	4,31
Magnésie.	0,51
Potasse.	0,32
Eau.	1,56
	98,77

(1) *Rapport sur les matériaux de construction de l'exposition universelle.*

(2) G. Rose. *Reise noch Ural*, t. II, p. 185 et 192.

Ce jaspe de l'Oural contient de l'alumine et un peu d'alcalis. Sa composition indique qu'il provient du métamorphisme d'un schiste argilosiliceux.

Serpentine, Euphotide, Diorite en contact avec le Galestro et le Macigno.

— Les roches serpentineuses ont très-souvent altéré les roches argileuses avec lesquelles elles sont en contact, et jusqu'à une très-grande distance elles les ont métamorphosées en *jaspe*.

C'est surtout à l'île d'Elbe, en Toscane, en Ligurie, dans l'île de Chypre et en Grèce que ce métamorphisme remarquable a été observé. Il a été décrit par un grand nombre de géologues, notamment par MM. Al. Brongniart, Pilla, Savi, Fr. Hoffmann, Studer, A. Burat, Durocher, Meneghini, Virlet, Coquand, Cocchi et Albert Gaudry.

La roche éruptive est une serpentine qui est généralement associée à l'euphotide ou à la diorite. Les roches argileuses qu'elle traverse sont les schistes galestrins (*scisti galestrini*, *galestro*) et le *macigno* du terrain tertiaire inférieur. Ces roches sont séparées l'une de l'autre par une roche métamorphique à laquelle on donne le nom de *diaspro* (jaspe), et le plus souvent de *gabbro rosso*. Leurs relations de gisement sont indiquées d'une manière générale par le croquis (Pl. V, *fig.* 14) que j'emprunte à M. Cocchi.

Diaspro. — Le *diaspro* est un jaspe très-dur et très-siliceux. Il prend parfaitement bien le poli, et ses couleurs sont extrêmement vives; elles sont d'ailleurs tellement variées, qu'il est possible d'obtenir presque toutes les nuances avec ce jaspe seul. Aussi est-ce l'une des principales pierres dures que l'on emploie à la manufacture royale de mosaïques à Florence. Le *diaspro* provient des schistes galestrins, et il s'exploite surtout à Barga et à Pontremoli.

Gabbro rosso. — Le *gabbro rosso* n'est autre chose

qu'un jaspe plus ou moins argileux. Il provient du métamorphisme des schistes et du macigno. Comme l'a fait remarquer M. Burat, lorsqu'on l'examine à distance il conserve des traces de stratification, et il est bien visible qu'il a une origine métamorphique, car ses couches font suite à celles du *macigno* non altéré ; mais, à mesure qu'on s'approche du *gabbro rosso*, sa stratification devient confuse ; de plus, on y remarque une structure fragmentaire pseudorégulière, ou même prismatique. Quelquefois cette structure est si régulière que ces jaspes ont été nommés *mattoni* (briques) ; par leur forme et par leur couleur rouge, ils ressemblent, en effet, à des briques.

Il est surtout très-difficile de distinguer le *gabbro rosso* de la roche éruptive au contact de laquelle il se trouve, lorsque cessant d'être schisteux il devient massif, ou bien lorsqu'il renferme lui-même des minéraux cristallisés, tels que le pyroxène et les zéolithes.

Il m'a paru intéressant de faire quelques recherches sur le *gabbro rosso*, qui est une roche classique résultant bien évidemment d'un métamorphisme de contact. — Lorsqu'il n'est pas altéré, le *gabbro rosso* a une couleur verdâtre ou gris bleuâtre ; mais le plus souvent, comme son nom l'indique, l'action de l'air lui a donné une couleur tirant sur le rouge, qui est due à de l'oxyde de fer. Il est très-compacte et il paraît homogène. Sa cassure est tranchante et esquilleuse. Par insufflation, il donne encore l'odeur argileuse. Sa dureté est d'autant plus grande qu'il est plus siliceux ; il raye facilement le verre.

J'ai fait l'analyse d'un *gabbro rosso* qui provient du cap Romito, près de Livourne. Il a été mis à ma disposition par M. Burat. Il se divise en parallélipipèdes bien réguliers, et sa couleur est brun rougeâtre. C'est

la variété du *gabbro rosso* nommée *mattoni*. Sa densité est... 2,652. Quand on le fait bouillir avec l'acide chlorhydrique, il perd sa couleur rouge et il s'attaque, mais faiblement et sans donner de la silice gélatineuse. Le résidu est blanc jaunâtre, pulvérulent, et filtre difficilement.

Je mets en regard du *gabbro rosso* du cap Romito, celui de l'Impruneta qui a été analysé par M. le professeur Bechi (1).

	Gabbro rosso	
	du cap Romito.	de l'Impruneta.
Silice	84,50	60,46
Alumine	6,00	30,38
Oxyde de fer	3,50	4,21
Protoxyde de manganèse. .	»	1,08
Chaux.	1,03	2,45
Magnésie	traces.	0,95
Potasse et soude	1,95	»
Eau.	2,47	0,48
Somme.	99,45	100,01

Si l'on compare ces analyses du *gabbro rosso*, on y remarque des différences assez notables. Il est très-facile de s'en rendre compte ; car, comme celle de tous les jaspes, la composition du *gabbro rosso* est nécessairement très-variable ; elle dépend non-seulement de la roche argileuse originaire, mais encore de son métamorphisme.

Lorsque le *gabbro rosso* est dur et infusible, il est riche en silice ; c'est ce qui a lieu pour celui du cap Romito, qui renferme près de 85 p. 100 de silice. La teneur en silice du *gabbro rosso* de l'Impruneta s'abaisse, au contraire, jusqu'à 60 p. 100.

J'observerai, d'ailleurs, que le *gabbro rosso* renferme

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. XIII, p. 262.

plusieurs centièmes d'oxyde de fer, comme sa couleur rouge pouvait le faire prévoir. Il contient aussi des alcalis. Bien que M. le professeur Bechi n'en signale pas dans le *gabbro rosso* de l'Impruneta, j'en ai trouvé dans celui du cap Romito, et je ne mets pas en doute qu'il n'y en ait toujours plus ou moins dans tous les jaspes.

Je remarquerai encore que le *gabbro rosso* n'a généralement pas de carbonates. Il contient peu de chaux et surtout très-peu de magnésie. On peut assurément s'étonner de ce dernier résultat; car le *gabbro rosso* s'est formé au voisinage de la serpentine, qui est une roche magnésienne par excellence. La magnésie n'a donc pas pénétré jusqu'au *gabbro rosso* proprement dit; elle est restée dans la zone la plus rapprochée de la serpentine, celle dans laquelle on observe du pyroxène et des minéraux magnésiens.

On voit d'après les caractères du *gabbro rosso*, qu'il appartient aux roches que je désigne d'une manière générale sous le nom de jaspes. Mais suivant sa richesse en silice et son état de métamorphisme, il peut être classé au jaspe dur ou bien au jaspe tendre. Par des dégradations insensibles, il passe même au schiste argileux.

Il diffère d'ailleurs beaucoup du jaspe-porcelanite et des roches métamorphiques qui sont au contact du basalte; cependant il importe de signaler plusieurs analogies qui sont frappantes. En effet, le *gabbro rosso* renferme quelquefois des zéolithes. Ces zéolithes tapissent ses fissures et ses cavités. D'après les recherches de MM. Meneghini et Bechi, ils présentent une particularité très-remarquable; car ils contiennent tous de la magnésie, bien qu'on n'en trouve jamais dans ces minéraux. Comme l'a fait observer M. Dana, il est très-

probable que cette magnésie a été introduite par une pseudomorphose. Le voisinage de la serpentine permet, d'ailleurs, d'expliquer facilement sa présence.

Les zéolithes magnésiennes du *gabbro rosso* sont l'heulandite (caporcianite), l'analcime (picranalcime), la thomsonite (picrothomsonite), l'harmotôme (portite), le mesole (sloanite), la schneiderite, la savite, l'apophyllite, la datholite (humboldtite).

Il importe aussi de signaler dans le *gabbro rosso* l'existence de veines métallifères. Elles sont accompagnées par leurs gangues habituelles, telles que la chaux carbonatée, la baryte sulfatée, etc. Parmi les minerais, le cuivre y est surtout abondant, et en Toscane il donne même lieu à plusieurs exploitations importantes (1).

Il faut donc reconnaître que les zéolithes et les filons métallifères indiquent pour le *gabbro rosso* un métamorphisme analogue à celui qui s'est produit au contact du basalte et de diverses roches trappéennes.

Les jaspes se sont formés au contact des roches trappéennes de toutes les époques.

—Le métamorphisme des roches argileuses en jaspes, au contact des roches trappéennes, est très-général et extrêmement fréquent. Les jaspes s'observent, en effet, au contact de la diorite, de l'euphotide, du trapp, du mélaphyre, du basalte et de la serpentine, c'est-à-dire au contact de toutes les roches trappéennes. La formation du jaspe est, jusqu'à un certain point, indépendante de la composition minéralogique de ces roches. Le jaspe-porcelanite seul paraît se trouver spécialement au contact des roches basaltiques.

La formation des jaspes est aussi indépendante de l'âge des roches trappéennes; car il ne serait pas toujours possible de distinguer entre eux les jaspes d'époques différentes. Ils ont d'ailleurs été produits par les

(1) Burat. *Gîtes métallifères de la Toscane.*

trapps les plus anciens du terrain silurien et par les roches basaltiques les plus récentes. On voit, par conséquent, que les jaspes se sont formés à toutes les époques et au contact de toutes les roches trappéennes, quels que soit leur âge et leur composition minéralogique.

§ 126. *Passages.* — Il arrive quelquefois que les roches, ayant pour base un feldspath du sixième système, ne sont pas séparées du schiste argileux par une limite nette. Ainsi, à Rozan, M. Durocher a observé un passage entre le kersanton et la grauwake. Vers le contact du kersanton certaines couches de cette grauwake se divisent en sphéroïdes aplatis ayant $0^m,60$ de diamètre et montrant des zones concentriques. En même temps, du mica s'est développé jusque dans la grauwake qui passe alors à un véritable kersanton (1).

Il y a souvent des passages insensibles entre le mélaphyre et le schiste. J'en ai signalé un exemple à Ternuay, et j'ai fait voir que le schiste prend peu à peu les caractères et la composition du mélaphyre (2).

Dans l'Oural, M. G. Rose a observé le passage du porphyre augitique au schiste vert. M. Fournet a constaté le même passage pour le mélaphyre; de plus, il a été conduit à admettre que le mélaphyre est essentiellement une roche métamorphique. D'autres géologues ont émis la même opinion à l'égard des roches amphiboliques et, en général, des roches trappéennes.

Les roches argileuses sont d'ailleurs parmi les roches stratifiées celles qui présentent les passages les plus fréquents aux roches trappéennes; et il est facile de

---

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. III, p. 593.
(2) *Annales des mines*, 4e série, t. XII, p. 302.

s'en rendre compte, puisque ordinairement elles renferment déjà les éléments de ces roches.

Je me contenterai de mentionner ces passages des roches argileuses aux roches trappéennes; car ils résultent de phénomènes de métamorphisme distincts de ceux que nous avons spécialement étudiés dans ce travail, et par cela même qu'il n'y a pas de limite tranchée entre les deux roches, ils appartiennent plutôt au métamorphisme normal.

Résumé.

§ 127. *Résumé.* — *Roches trappéennes et Roches argileuses.*

Le métamorphisme que les roches argileuses ont éprouvé au contact des roches trappéennes est assez difficile à apprécier. Le plus souvent, en effet, les roches argileuses renferment déjà des alcalis et toutes les substances qui entrent dans la composition de la roche éruptive. Les proportions de ces substances varient donc seules dans le métamorphisme, en sorte que, pour le définir, il est indispensable d'avoir recours à l'analyse chimique. En outre, comme les roches argileuses sont compactes, les minéraux ne peuvent guère s'y développer que quand il s'y trouve des fissures ou des cavités.

— Si l'on passe d'abord en revue ces minéraux métamorphiques, il est facile de constater qu'ils ne diffèrent pas de ceux qui se sont formés au contact des roches calcaires ou siliceuses. Je signalerai les hydrates de fer et de manganèse, l'oxyde de fer et la pyrite magnétique (p. 499). Il y a souvent des carbonates; ainsi, la chaux carbonatée et l'arragonite se sont formées dans les marnes et tapissent les cavités des roches argilo-calcaires devenues celluleuses (p. 465). Le calcaire siliceux se montre en veines ou en amas (p. 437). Un carbonate à base de fer ou de magnésie imprègne généralement les roches argileuses quand elles ont pris la couleur verte (p. 430).

Les hydrosilicates sont très-fréquents ; ce sont l'argile ferrugineuse, mais surtout la terre verte et les zéolithes.

Les roches argileuses peuvent devenir vertes, sans qu'il y ait des lamelles de terre verte visibles ; mais quelquefois aussi ces lamelles imprègnent toute la roche dans laquelle elles sont disséminées ou bien elles se sont développées suivant des veinules (§ 112).

Les zéolithes sont fréquentes et très-nombreuses ; on peut signaler notamment la mésotype, le mésole, la chabasie, la stilbite, l'analcime, l'apophyllite, l'heulandite, la thomsonite, l'harmotome, la datholithe. Elles deviennent magnésiennes dans le gabbro rosso (p. 508). Elles sont d'ailleurs associées aux minéraux habituels des amygdaloïdes, notamment à la chaux carbonatée, au quartz, à la calcédoine et à la silice sous différents états. Elles se sont développées dans toutes les roches argileuses, mais surtout dans celles qui sont clastiques et changées en palagonite.

Comme les zéolithes se forment en grande abondance au voisinage des volcans en activité, elles établissent un lien de parenté entre le métamorphisme des laves et celui des roches trappéennes.

Parmi les silicates, on peut citer le grenat, l'hornblende, l'épidote.

Les minéraux de gîtes métallifères se retrouvent aussi fréquemment.

— Le développement de minéraux dans les roches argileuses est, jusqu'à un certain point, exceptionnel. Le plus souvent le métamorphisme de ces roches est accusé simplement par des modifications dans leur structure. Elles restent amorphes et elles passent par une foule d'états, qui dépendent il est vrai des métamorphoses qu'elles ont subies, mais qui sont presque indéfinissables.

Il est bon de constater d'abord qu'une roche argileuse

peut se trouver au contact immédiat d'une roche trappéenne sans éprouver aucune altération, même dans sa structure.

Quelquefois sa structure est polyédrique, pseudo-régulière, sphéroïdale, ou même prismatique. Ses prismes sont à petite section et perpendiculaires à la surface de contact; ils sont formés par une argile durcie, qui a éprouvé un léger retrait, mais qui contient encore presque autant d'eau que l'argile normale.

Le plus souvent, les roches argileuses deviennent lithoïdes. Elles changent alors de couleur, et leur dureté augmente. Généralement aussi, elles perdent une partie de leur eau et de leurs carbonates. Dans certains cas, le carbonate de chaux est remplacé par des carbonates qui font une effervescence lente et qui sont à base de fer ou de magnésie.

Au contact des roches trappéennes riches en zéolithes, elles sont quelquefois métamorphosées en palagonite. En même temps elles sont imprégnées par les zéolithes, la chaux carbonatée et les minéraux des amygdaloïdes.

Elles deviennent aussi celluleuses et elles passent au spilite : c'est ce qui a lieu surtout quand elles sont calcaires, et, dans ce cas, elles perdent au moins une partie de leurs carbonates. Dans leurs cavités, on retrouve également les minéraux des amygdoloïdes (§ 120).

Les roches argileuses sont souvent métamorphosées en jaspes au contact des roches trappéennes. Alors, elles conservent plus ou moins les traces de leur stratification qui est indiquée par des veines parallèles. Elles sont compactes, dures, à cassure esquilleuse et conchoïde. Leurs couleurs sont vives et généralement variées.

Le jaspe porcelanite s'observe au contact des roches

basaltiques. Il est gris, bleu, violet, noir, quelquefois veiné de rouge. Son éclat est lustré et demi-vitreux. Sa dureté est grande. Il contient beaucoup plus d'alumine, d'oxyde de fer et d'alcalis qu'il n'y en a dans le jaspe proprement dit.

Toujours aussi, l'on y trouve quelques centièmes d'eau.

Si l'on prend comme type le jaspe porcelanite d'Essey, sa densité est moindre que celle de la roche argileuse de laquelle il provient. Sa teneur en silice est aussi moindre, tandis qu'il renferme plus d'oxyde de fer et plus d'alcalis (§ 123).

Les caractères et le gisement du jaspe porcelanite montrent qu'il y a une grande analogie entre cette roche et la palagonite (§ 124).

Si l'on considère le jaspe proprement dit, on peut en distinguer deux variétés : le jaspe tendre et le jaspe dur.

Le jaspe tendre a une dureté qui ne dépasse pas celle du feldspath. Il s'agglutine ou bien même il fond au chalumeau. Il contient toujours une proportion très-notable d'alumine et d'alcalis. Il provient du métamorphisme de roches argileuses riches en alumine, telles que l'argile, l'argilithe, le schiste et même la marne (p. 488).

Des zéolithes ont quelquefois cristallisé dans ses fissures et peuvent l'imprégner complétement (p. 492).

Le jaspe dur est celui qui est le plus connu et qui s'emploie dans les arts. Sa dureté est supérieure à celle du feldspath. Il ne fond pas au chalumeau, si ce n'est très-difficilement. Il contient un peu d'alumine et d'alcalis. Il résulte du métamorphisme de roches argileuses riches en silice, telles que les schistes siliceux, les grès schisteux.

La densité des jaspes est assez variable ; elle dépend surtout de leur composition et de leur état moléculaire. Elle est d'autant plus petite qu'ils sont plus riches en silice et qu'ils contiennent plus d'eau. Elle diminue aussi lorsqu'ils sont à l'état vitreux comme le jaspe porcelanite. Ses limites sont 2,60 à 2,9 pour le jaspe tendre, 2,4 à 2,65 pour le jaspe porcelanite et pour le jaspe dur.

Le métamorphisme des roches argileuses en jaspes est extrêmement fréquent. Il n'est pas produit par une silification ; car souvent, au contraire, la proportion de la silice a diminué.

— L'argile proprement dite se prête moins bien que l'argilithe aux différentes métamorphoses qui viennent d'être signalées, et il est facile de le comprendre, puisque cette dernière renferme déjà des alcalis.

Quand la roche argileuse est calcaire, il arrive fréquemment que son carbonate diminue ou bien même disparaît complétement. C'est ce qu'on observe quand le métamorphisme est énergique, notamment quand elle devient celluleuse.

Les roches argileuses clastiques et formées de débris de roches feldspathiques sont très-facilement métamorphosées.

On n'observe pas qu'une roche argileuse se change entièrement en un agrégat cristallin au contact d'une roche trappéenne ; mais, quand elle se métamorphose en palagonite, en jaspe porcelanite, en jaspe, elle prend cependant des caractères assez constants.

Les minéraux qui constituent la roche trappéenne se développent quelquefois jusque dans la roche argileuse ; mais alors il y a passage d'une roche à l'autre, et le métamorphisme de contact fait alors place au métamorphisme normal.

— Lorsque la roche trappéenne et la roche argileuse sont séparées par une salebande, on y trouve souvent de l'argile; c'est ce qui a lieu du reste au contact de toute espèce de roches. On y trouve aussi les divers minéraux métamorphiques que nous avons déjà signalés.

— Les roches argileuses contiennent beaucoup d'eau, et dès qu'elles sont chauffées elles s'altèrent d'une manière très-sensible; on a vu cependant que les gisements dans lesquels elles ont été soumises à une température élevée sont en quelque sorte exceptionnels. En outre, les minéraux qui se sont développés et les caractères de la roche métamorphosée, montrent presque toujours, que l'action aqueuse était combinée à l'action ignée; par conséquent, nous arrivons encore à attribuer le métamorphisme produit par les roches trappéennes à une action mixte dans laquelle la part la plus large appartiendrait à l'action aqueuse.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

NOTE

SUR

LA DÉPENSE DES DÉVERSOIRS VERTICAUX, AVEC ARÊTE SAILLANTE, ALIMENTÉS PAR UN CANAL DE MÊME LARGEUR.

Par M. E. CLARINVAL, capitaine d'artillerie,
professeur de mécanique à l'école d'application de l'artillerie et du génie.

Le but que je me propose dans cette note est de faire connaître un moyen simple et suffisamment exact dans la pratique, pour calculer la dépense des déversoirs les plus employés, c'est-à-dire des déversoirs verticaux alimentés par des canaux rectangulaires de même largeur qu'eux, et présentant à leur sommet une arête saillante et un biseau, ainsi que le montre la figure ci-jointe. Objet du travail.

Quelques mots sont nécessaires pour faire connaître l'état de la question.

Dubuat a proposé pour mesurer la dépense des déversoirs, dans le cas où l'eau est en repos dans le bief d'amont, la formule : Formules qui servent à calculer la dépense des déversoirs.

$$D = \frac{2}{3} mlH \sqrt{2gH},$$

dans laquelle l représente la largeur du déversoir ; H est la différence de niveau entre la crête du barrage et le point le plus élevé du remous, et m un coefficient à déterminer par l'expérience.

Les auteurs modernes ont donné à cette équation la forme :

$$D = klH \sqrt{2gH},$$

en posant $\frac{2}{3}m = k$ et confondant à tort, ce me semble, les données de l'analyse avec celle de l'expérience.

Quand le liquide arrive dans le bief d'amont avec une certaine vitesse v, le second membre doit changer et l'équation rationnelle qui se présente alors est :

$$D = klH\sqrt{2g\left(H + \frac{v^2}{2g}\right)},$$

si l'on ne veut pas s'écarter de l'idée qui sert de base à Dubuat.

Les tables dressées par les hydrauliciens doivent donner, pour les diverses valeurs de H, les valeurs correspondantes de k, suivant les divers dispositifs en usage.

Examen des expériences qui ont eu pour but de déterminer les valeurs des coefficients de correction.

Les hydrauliciens anciens et modernes ont tous étudié la question ; mais leurs expériences ont été généralement incomplètes. Celles qui marqueront dans l'histoire de la science appartiennent à MM. Poncelet, Lesbros, Castel et Boileau.

Les observations communes à MM. Poncelet et Lesbros n'ont porté que sur un cas particulier ; on n'en peut rien conclure, surtout pour celui dont je m'occupe dans cette note.

M. Castel, contrôleur des eaux de la ville de Toulouse, a examiné spécialement, dans des expériences insérées dans les *Annales des mines*, l'influence du rapport $\frac{l}{L}$ de la largeur du déversoir à celle du canal alimentaire ; toutefois, ce travail remarquable ne permet pas de résoudre la question générale, et pour les déversoirs sans contraction latérale, la variation de k n'a pas été suffisamment étudiée relativement à celle de la hauteur du barrage, en même temps que les charges n'ont pas été assez étendues.

Ainsi, M. Castel donne d'abord les valeurs de k pour des déversoirs larges de 0,74 et de 0,36; dans chacun d'eux, le barrage a une hauteur de 0,17, et la charge varie pour le premier de 0,03 à 0,08, et pour le second de 0,03 à 0,12. Plus loin, il reprend le barrage de 0,74 en faisant varier sa hauteur de 0,225 à 0,03 seulement, et toujours entre les mêmes limites de charges.

De plus, on reproche avec raison à cet auteur d'avoir adopté un dispositif où l'eau, fournie par le mouvement des pompes, arrivait par saccades dans le bief d'amont et y occasionnait une suite d'ondulations produisant continuellement des variations de niveau.

L'observation de H était donc bien difficile, malgré toutes les précautions minutieuses prises par M. Castel, et tellement bien décrites par M. d'Aubuisson (*Annales des mines*, 1836 et 1837) que je n'y reviendrai pas.

Il est à remarquer cependant que M. Castel a négligé de tenir compte de la vitesse acquise par le liquide dans le bief d'amont; il s'est servi pour calculer k de la formule :

$$D = klH\sqrt{2gH},$$

prenant pour H la différence de niveau entre la crête du barrage et le point le plus élevé du remous.

L'effet de cette vitesse étant d'augmenter la dépense pour une même épaisseur de lame, les coefficients conclus sont nécessairement un peu trop forts (1). Il ne faudrait pas toutefois exagérer l'erreur qui provient de

(1) Ceci est vrai, quand, pour ne pas s'écarter de l'idée qui sert de base à la formule de Dubuat, on adopte l'équation :

$$D = klH\sqrt{2g\left(H+\frac{v^2}{2g}\right)}.$$

la méthode de M. Castel ; elle est faible, ainsi que l'indique le tableau suivant où j'ai réuni les valeurs de *k* données par M. Castel pour le barrage de 0,74 et celles que l'on obtient en tenant compte de la vitesse acquise.

Charges H	Valeurs expérimentales de *k*.	Valeurs corrigées de *k*.	Différence des deux valeurs.
0,08	0,4412	0,430	0,011
0,06	0,4412	0,433	0,008
0,05	0,4412	0,435	0,006
0,04	0,4412	0,437	0,004
0,03	0,4412	0,439	0,002

M. le colonel Lesbros a fait, postérieurement à M. Castel, des expériences nombreuses, afin de compléter celles qu'il avait entreprises de concert avec M. le général Poncelet, et il a examiné le cas où le déversoir n'a point de contraction latérale.

Le travail de ce savant officier offre une étude complète de l'influence des charges ; mais celle de la hauteur du barrage y est négligée. Il tire, de la comparaison de ses expériences avec celles de M. Castel, cette conséquence : qu'à partir de 0,54 toute augmentation dans la hauteur du barrage n'influe plus sur la dépense. Son raisonnement ne me paraît pas concluant, et de plus, les observations de M. le capitaine Boileau prouvent le contraire.

Enfin, M. Lesbros n'a fait, pour le cas particulier que j'examine, des expériences que sur un barrage de 0,54 et il propose de trouver les valeurs de *k* pour des barrages moins élevés par des interpolations qui peuvent, ainsi qu'il le reconnaît lui-même, ne pas amener une grande exactitude.

Du reste, le dispositif employé par M. Lesbros laisse

à désirer. L'eau arrivait d'un immense réservoir où elle était stagnante dans le bief d'amont, sans transition ni raccordement; il en résultait nécessairement, à l'entrée dans ce canal, un rétrécissement brusque qui entraînait une perte de forces vives dont M. Lesbros n'a pas tenu compte, car il a pris pour H la différence de niveau entre la crête du barrage et la surface de l'eau stagnante dans le grand réservoir.

Il résulte de là que la formule de laquelle il part peut prendre la forme :

$$D = kl(h_1 + h_2 + \epsilon)\sqrt{2g(h_1 + h_2 + \epsilon)},$$

h_1 étant l'épaisseur de la veine liquide au point le plus haut du remous;
h_2 la hauteur correspondant à la vitesse acquise en ce point;
ϵ la hauteur perdue en passant du réservoir dans le canal.

Cette formule pourrait être adoptée, mais elle aurait le grave inconvénient de donner aux tables un point de départ $(h_1 + h_2 + \epsilon)$ tout à fait relatif au dispositif particulier adopté dans les expériences, et son emploi dans la pratique introduirait des coefficients k un peu trop faibles.

M. le capitaine Boileau a présenté, dans ces dernières années à l'Institut, un mémoire dans lequel il propose, pour les déversoirs dont je m'occupe, une formule différente de celle de Dubuat, et qui, dans certaines limites, n'a pas besoin de coefficient de correction. L'auteur indique ces limites, les coefficients à adopter dans les autres cas, et donne un tableau renfermant les valeurs de k applicables à la formule de Dubuat pour des charges et des hauteurs de barrages très-étendues.

La première partie de ce travail me semble peu utile; dès lors que cette formule a presque toujours besoin d'un coefficient de correction, je ne vois aucun avantage à la substituer à celle de Dubuat qui est, du reste, beaucoup plus simple. Le tableau des valeurs de *k* me paraîtrait au contraire d'une bien grande importance s'il était plus étendu; si, ne reposant pas sur quelques expériences fausses comme celles de la septième série, il donnait un degré d'approximation moins variable. Je reconnais qu'en général les coefficients donnés par M. Boileau fourniront une approximation de $\frac{1}{50}$; mais cela n'est pas suffisant pour une table, à cause des interpolations qu'on sera obligé de faire pour trouver les valeurs de *k* à adopter, suivant les données de la question.

Il est clair que si les nombres qui servent de jalons ne donnent que $\frac{1}{50}$ d'approximation, ceux qu'on en déduira, en supposant des différences proportionnelles, pourront être déjà assez erronés.

Le tableau suivant, où je rapporte les résultats donnés par MM. Lesbros et Boileau pour un barrage de 0,54, accuse une différence moyenne de 0,017.

Charges H	Valeurs de K d'après M. Lesbros.	Valeurs de K d'après M. Boileau.	Différence.
0,2441	0,4283	0,438	0,010
0,1558	0,4329	0,429	0,003
0,1551	0,4329	0,429	0,003
0,1021	0,4335	0,418	0,015
0,0566	0,4382	0,402	0,036
0,0191	0,4748	»	»

On trouvera peut-être illusoire et ridicule une pe-

reille comparaison ; je sais bien que les expériences de ces deux hydrauliciens ne sont pas comparables, à la rigueur. J'ai dit précédemment comment M. Lesbros avait mesuré H ; M. Boileau s'est servi, au contraire, d'un tube droit ouvert à ses deux bouts, qu'il appliquait contre la face d'amont du barrage.

Ce savant officier a, du reste, constaté que si l'on a le soin de ne point placer le tube trop près des parois latérales ou de la crête du barrage, le niveau de l'eau dans le tube était toujours le même, et qu'il était plus élevé que le point le plus haut des remous et un peu moins que la surface de l'eau stagnante dans le réservoir.

Il suit de là que les valeurs de H auxquelles correspondent les coefficients de M. Boileau sont un peu moins grandes que celles qui sont indiquées dans le tableau précédent ; mais la différence est bien faible, ainsi que le montrent les observations suivantes.

Lorsque H mesuré par le procédé de M. Lesbros est

0,1220	le tube donne	0,1205
0,1340	*id.*	0,1300
0,1690	*id.*	0,1610
0,2390	*id.*	0,2215

Il suit de là que les coefficients résultant des expériences de M. Boileau devraient toujours être plus forts que ceux de M. Lesbros ; le tableau précédent montrant que le contraire a lieu, nous devons prendre toujours les coefficients déterminés par M. Lesbros pour types, parce qu'ils doivent très-peu différer de la vérité. Le soin tout particulier mis par cet officier dans ses expériences, la grande habitude qu'il possède de ce genre d'observations, sont un sûr garant d'exactitude ; tandis

que M. Boileau dit lui-même que le temps a été rarement calme pendant ses travaux et que les ondulations qui se produisaient dans le liquide ont causé des erreurs dans l'appréciation de H et dans celle de la dépense contenue dans la jauge.

Le procédé employé par M. Boileau pour mesurer H est simple et ingénieux ; il est du reste analogue à celui de Bidone et me paraît un excellent point de départ pour les tables.

Si je résume la question, je vois dans le travail de M. Lesbros quelques expériences suffisamment exactes sur le cas particulier que j'étudie, mais incomplètes, car elles ne font pas connaître l'influence de la hauteur du barrage. Pour en tenir compte, l'auteur y indique des interpolations encore assez longues et qui ne donneront pas une grande approximation pour un barrage de moins de 0,54. Si le barrage est plus élevé, on ne pourra résoudre la question qu'en admettant que le coefficient est le même que dans le cas du dispositif qu'il désigne sous le numéro 10.

Les expériences de M. Castel, considérées isolément, ne permettent en aucune manière de déterminer k; mais, réunies aux expériences de M. Lesbros, elles jettent quelque jour sur l'influence de la hauteur du barrage et rendent les interpolations plus sûres quand toutefois cette hauteur est faible.

Enfin, le travail de M. Boileau résoudrait la question aussi complétement que des tables peuvent la résoudre, si des influences étrangères n'avaient souvent altéré les coefficients qui leur ont servi de base.

Inconvénient des tables. Proposition d'une formule donnant la dépense sans coefficient.

Des tables renfermant des coefficients très-exacts ne présentent jamais aux praticiens que des jalons capables de resserrer entre des limites plus ou moins étroites les erreurs qui proviendront des interpolations qu'exi-

geront toujours les applications particulières; il faudra tracer des courbes pour traiter les cas qui n'y seront pas compris.

Le moyen qui me paraît le plus sûr et le plus simple est de construire une formule, soit empirique, soit théorique, donnant sans coefficient la dépense avec une approximation suffisante dans la pratique et n'exigeant pas des calculs longs et pénibles.

C'est vers ce but que doivent tendre les travaux des hydrauliciens, aujourd'hui que bien des observateurs ont préparé, ainsi que le dit M. Poncelet (Rapport sur les expériences hydrauliques de M. Lesbros) des matériaux exempts de doute sur lesquels la théorie et les formules peuvent s'asseoir comme sur une base solide.

Tel est aussi l'objet que je me suis proposé. Je n'ai eu ni le temps ni les moyens de vérifier ma formule par l'expérience; j'aime mieux, du reste, qu'il en soit ainsi, car on m'accuserait peut-être d'avoir fait concorder des résultats que l'on ne pourrait contrôler avec ceux de la formule.

Avant de dire comment je suis arrivé à l'établir, je prouverai son exactitude en montrant qu'elle donne, avec toute l'approximation désirable, les résultats obtenus par MM. Castel, Lesbros et Boileau.

Cette formule est :

$$D = lH\sqrt{2gH}\,\frac{h\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}}.$$

On voit que ce n'est autre chose que la formule adoptée, dans laquelle je remplace k par la valeur théorique que je lui attribue; h représente l'épaisseur de la veine liquide au-dessus de la crête du déversoir;

mais H est la charge au-dessus de la crête du barrage mesurée au point où le dénivellement commence.

On doit remarquer que m'écartant, d'après cela, de l'idée qui sert de base à Dubuat, les valeurs que donnera la formule proposée devront être analogues à celles qui résultent des expériences de M. Castel.

Quand je comparerai les valeurs de *k* qui lui conviennent à celles des expériences de MM. Lesbros et Boileau, je trouverai nécessairement une certaine différence. Les valeurs attribuées par ces expérimentateurs devront être plus faibles que les miennes.

Il sera bon de voir si la formule proposée donne encore des résultats suffisamment exacts, en supposant H mesurée comme l'ont fait ces savants officiers.

Comparaison des résultats fournis par la formule proposée avec ceux des expériences de M. Castel.

J'ai dit précédemment que M. Castel avait fait des expériences sur deux déversoirs sans contraction latérale; mais lui-même et M. Lesbros ne considérant comme exactes que celles qui sont relatives au déversoir de 0,74 de largeur, ce sont celles-ci qui me serviront de comparaison.

Le tableau suivant indiquera les coefficients de M. Castel et ceux qui sont fournis par ma formule :

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficients de M. Castel.	Coefficients donnés par la formule.	Différences.
0,08	0,0683	0,4412	0,441	0,000
0,09	0,0504	0,4412	0,436	0,005
0,04	0,0419	0,4512	0,434	0,007
0,04	0,0337	0,4412	0,433	0,008
0.03	0,0250	0,4412	0,441	0,000

L'exactitude de la formule me paraît aussi grande qu'on peut le désirer dans ce cas relatif à de faibles charges et au barrage de 0,17.

Comparaison des résultats fournis par la formule proposée avec ceux des expériences de M. Lesbros.

Si je prends de même les résultats obtenus par M. Lesbros pour le dispositif (10), qui est celui que j'étudie, je forme le tableau suivant :

Charges H	Épaisseurs h	Coefficients de M. Lesbros.	Coefficients donnés par la formule.	Différences.
0,2441	0,1996	0,4283	0,4291	0,0004
0,1558	0,1302	0,4329	0,4348	0,0019
0,1551	0,1297	0,4329	0,4374	0,0045
0,1021	0,0860	0,4335	0,4290	0,0055
0,0566	0,0470	0,4382	0,4387	0,0005

Dans ce nouveau cas relatif à un barrage de 0,54, l'approximation est également suffisante ; les charges y ont toute l'extension que l'on rencontrera dans la pratique.

J'ai supprimé dans ce tableau la dernière expérience qui est relative à $H = 0,0191$ et $h = 0,0144$, parce que c'est une charge limite que l'on n'aura jamais à considérer. Je dois ajouter toutefois, voulant traiter la question le plus consciencieusement possible, que l'approximation obtenue dans ce cas était trop faible ; mais, je le répète, je crois la chose sans conséquence au point de vue pratique.

Impossibilité de comparer les résultats de la formule aux expériences de Dubuat.

J'aurais voulu me servir, pour vérifier ma formule, des expériences de Dubuat ; mais cela m'a été impossible, à cause de la manière obscure et incomplète dont il désigne es données de la question.

Comparaison des résultats fournis par la formule proposée avec ceux des expériences de M. Boileau.

Les valeurs de H obtenues par M. Boileau étant peu différentes de celles qu'aurait données dans le même cas le procédé adopté par M. Lesbros, j'ai pensé pouvoir comparer aussi les résultats de la formule avec ceux de ses expériences.

J'avais à craindre, dans cette épreuve, que les va-

leurs de *h* mesurées par M. Boileau au centre du déversoir, au lieu d'être déduites de la section de la nappe, ne m'entraînassent à des différences assez grandes, d'autant plus que les ondulations du liquide ont amené, comme il le dit lui-même, des erreurs d'observation.

Je commencerai la comparaison des résultats par les trois expériences de la 7e série faites sur un barrage de 0,206.

M. le capitaine Boileau déclare que cette faible hauteur rapprochant la nappe liquide du remous tourbillon situé contre la face d'amont du barrage, rendait très-irrégulières les quantités H et *h*, et qu'il est certain que les nombres indiqués ne sont pas très-exacts.

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficient d'expérience.	Coefficient donné par la formule.	Différences.
0,0450	0,0365	0,4187	0,4214	0,0027
0,0577	0,0476	0,4172	0,4326	0,0254
0,0727	0,0599	0,4137	0,4284	0,0147

L'erreur moyenne, qui est de 0,0142, monte pour la seconde expérience à 0,0254 ; néanmoins on ne doit rien en conclure contre la formule proposée qui satisfait pleinement aux expériences de M. Castel, entreprises dans les mêmes limites, et rejeter le peu d'approximation sur les observations inexactes de M. Boileau.

Ne pouvant, à cause de la longueur des calculs, appliquer ma formule à toutes les expériences de cet officier, j'ai choisi celles qui offrent une gradation dans les hauteurs de barrage et une certaine étendue dans les charges.

Je continuerai, en conséquence, par les observations de la 6e série sur un barrage de 0,340.

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficients d'expérience.	Coefficients de la formule proposée.	Différences.
0,0577	0,0463	0,4212	0,4180	0,0132
0,0657	0,0529	0,4310	0,4224	0,0086
0,0967	0,0788	0,4241	0,4214	0,0027
0,1340	0,1100	0,4340	0,4284	0,0056
0,1550	0,1270	0,4457	0,4410	0,0047
0,1880	0,1560	0,4419	0,4410	0,0009
0,2190	0,1820	0,4462	0,4469	0,0007

Ici l'erreur moyenne est de 0,0056; il n'est peut-être pas inutile de remarquer que les trois coefficients 0,4211, 0,4310, 0,4457, qui tendent à augmenter l'erreur, ont été déterminés à l'aide d'une courbe, M. Boileau ayant reconnu que ceux qui provenaient de ses expériences étaient faux.

Je passe à la 5ᵉ série exécutée sur un barrage de 0,411.

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficients d'expérience.	Coefficients de la formule.	Différences.
0,0487	0,0400	0,4176	0,4040	0,0096
0,0560	0,0470	0,4124	»	»
0,0617	0,0490	0,4113	0,4200	0,0087
0,0835	0,0690	0,4096	0,4223	0,0127
0,0892	0,0740	0,4119	0,4210	0,0091
0,1250	0,1030	0,4292	0,4141	0,0151
0,1560	0.1245	0,4600	0,4360	0,0239
0,1600	0,1330	0,4426	0,4356	0,0070

L'erreur moyenne est de 0,0123 en tenant compte de l'avant-dernière expérience dont le coefficient expérimental 0,4600 est évidemment faux. Je n'ai point indiqué le coefficient donné par la formule pour la seconde expérience, parce que M. Boileau déclare avoir reconnu après coup que les valeurs indiquées pour H et *h* étaient inexactes.

La comparaison relative aux expériences de M. Lesbros ayant montré que la formule s'applique aux barrages de 0,54, je passe aux observations contenues dans la 4ᵉ série sur un barrage de 0,608.

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficients d'expérience.	Coefficients de la formule.	Différences.
0,185	0,162	0,4287	0,4323	0,0036
0,216	0,181	0,4346	0,4382	0,0036
0,2335	0,1965	0,4337	0,4258	0,0079
0,249	0,209	0,4338	0,4371	0,0033
0,271	0,228	0,4375	0,4349	0,0026
0,272	0,2885	0,4368	0,4360	0,0008
0,289	0,242	0,4368	0,4392	0,0024

L'approximation est encore plus grande que dans les cas précédents.

Pour ne pas fatiguer le lecteur par une comparaison dont les résultats paraissent évidents, je finirai par le tableau auquel donne lieu la 2ᵉ série d'expériences sur un barrage de 0,918.

Charges H	Épaisseurs *h*	Coefficients d'expérience.	Coefficients de la formule.	Différences.
0,0630	0,0525	0,4222	0,43050	0,0083
0,0735	0.0615	0,4216	0,43632	0,0147
0,0810	0,0680	0,4205	0,43700	0,0165
0,0850	0,0715	0,4204	0,44200	0,0220
0,1210	0,1020	0,4213	0,4400	0,0190
0,1330	0,1120	0,4235	0,4367	0,0132
0,1630	0,1380	0,4279	0,4418	0,0139
0,1780	0,1515	0,4288	0,4368	0,0080
0,1890	0,1605	0,4261	0,4406	0,0145
0,2180	0,1825	0,4217	0,4341	0,0124
0,2300	0,1960	0,4220	0,4416	0,0196
0,2470	0,2105	0,4271	0,4434	0,0163
0,2610	0,2195	0,4311	0,4360	0,0049
0,3310	0,2790	0,4440	0,4406	0,0038
0,3570	0,3000	0,4409	0,4469	0,0060
0,3700	0,3115	0,4425	0,4600	0,0175
0,4360	0,3680	0,4392	0,4440	0,0005

Ce tableau est celui qui présente la moins grande approximation; elle est cependant suffisante dans la pra-

tique, parce que c'est celle qui est définitive, puisque nous n'avons pas, en nous servant de la formule, d'interpolations à effectuer.

Du reste, M. Boileau a dû rectifier encore ici, à l'aide de courbes, les coefficients expérimentaux; l'erreur qui a été commise pour la jauge peut l'avoir été aussi dans les valeurs de H et h. Enfin, comme je l'ai remarqué, les coefficients de la formule doivent toujours être un peu plus grands que ceux de l'expérience.

Conclusion.

L'ensemble de cette discussion me paraît prouver qu'on peut dans la pratique employer avec sécurité la formule que je propose. Elle est simple et donnera certainement plus d'approximation que les méthodes connues jusqu'à ce jour.

Règle pratique pour mesurer la dépense des déversoirs verticaux à arête saillante et alimentés par des canaux rectangulaires de même longueur.

Il résulte de là que, pour mesurer la dépense d'un déversoir vertical à biseau et alimenté par un canal rectangulaire de même largeur, on pourra :

1° Déterminer H à l'aide du tube indicateur de Bidone, modifié d'après les idées de M. le capitaine d'artillerie Boileau, c'est-à-dire droit au lieu d'être courbé à angle droit;

2° Déterminer h par la considération de la section de la nappe liquide au-dessus de la crête du barrage, ou plus simplement (ce qui sera moins exact) en la mesurant directement au milieu du déversoir;

3° Substituer ces données dans l'équation

$$D = lH\sqrt{2gH}\,\frac{h\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}},$$

qui donnera la dépense avec une assez grande approximation.

Cette approximation serait plus grande si H était déterminé par un nivellement et avait exactement la valeur que lui suppose la formule.

Lorsque la largeur du barrage est faible, il faut tenir compte de la place occupée par le tube indicateur dans la section d'écoulement ; par suite, *l* indique la *largeur réduite* du barrage.

M. Boileau a vu par l'expérience que la correction était constante pour un même tube ; pour un tube de 0,015 de diamètre extérieur, il faut retrancher 0,021 de la largeur du barrage ; si ce diamètre était 0,010, on retrancherait 0,013.

Enfin, l'eau monte dans le tube par suite des phénomènes capillaires à un niveau qui n'est pas H, mais $H + \frac{29.8}{d}$, *d* exprimant en millimètres le diamètre extérieur du tube.

Ce sont là deux corrections importantes que les praticiens ne doivent pas négliger.

Considérations qui ont servi de base à l'établissement de la formule.

Les considérations qui m'ont permis d'établir la formule indiquée sont loin d'être mathématiquement exactes ; j'y ai été mené par l'étude des travaux de M. le colonel Lesbros. L'examen des résultats qu'il a obtenus avec les divers dispositifs m'a fait entrevoir une hypothèse qui paraissait en général vérifiée. J'ai donc calculé la dépense en faisant cette hypothèse, et on a vu que la formule qui en provient donne une assez grande approximation, ce qui prouve que l'hypothèse est admissible ou bien que les causes d'erreurs qu'elle introduit se font équilibre.

Si l'on examine les coefficients obtenus par M. Lesbros pour les dispositifs 1 et 4, on voit que, pour les charges comprises entre 0.025 et 0,20, ces coefficients ne diffèrent que d'environ 0,01, différence presque nulle au point de vue pratique.

De là on peut conclure que les coefficients de la dépense sont très-peu influencés par la contraction sur le fond.

La comparaison des résultats obtenus pour les dispositifs 1 et 8 montre, au contraire, que la suppression de la contraction latérale fait augmenter sensiblement la dépense ; il suit donc que si le mode de contraction sur le fond a peu d'importance, les effets de la contraction latérale ont une grande influence sur la valeur du coefficient de correction.

Cette conséquence que je tire ici des expériences de M. Lesbros me paraissait évidente depuis longtemps. Il est clair que la production de la contraction sur le fond exige que les molécules liquides placées au-dessous de la crête du barrage luttent contre le poids de la nappe supérieure ; l'action de la contraction sur le fond doit donc être moins sensible que celle de la contraction latérale.

Voyant le peu d'influence qu'a l'existence ou la suppression de la contraction sur le fond, j'ai admis (quitte à vérifier cette hypothèse) que la dépense d'un déversoir avec contraction sur le fond, était la même que si la contraction n'existait pas, et j'ai établi la formule donnant la dépense dans ce dernier cas. C'était à l'expérience à prononcer ; on a vu ce qu'il en était.

Il me reste donc à montrer que la formule indiquée est celle de la dépense d'un déversoir alimenté par un canal rectangulaire de même largeur et tel que la contraction est supprimée sur tout le pourtour de l'orifice.

Soient : l la largeur du déversoir ;
H la hauteur AC du remous au-dessus de la crête du barrage ;
h l'épaisseur ED de la veine liquide ;
V la vitesse moyenne dans la section ED ;
U la vitesse moyenne dans la section AC.

Il est clair que la dépense D aura pour expression le produit de la section ED par la vitesse V. Donc

$$D = lhV,$$

Il faut trouver V.

Le principe des forces vives donne :

$$\frac{1}{2}m(V^2-U^2)=mg\left(\frac{H-h}{2}\right),$$

ou :

$$V^2-U^2=g(H-h);$$

D'un autre côté :

$$lHU=lhV,$$

d'où :

$$U=\frac{h}{H}V,$$

donc :

$$V^2\left\{1-\frac{h^2}{H^2}\right\}=g(H-h),$$

d'où :

$$V=\sqrt{\frac{g(H-h)}{1-\frac{h^2}{H^2}}}=H\sqrt{\frac{gH\left(1-\frac{h}{H}\right)}{H^2-h^2}},$$

ou encore :

$$V=H\sqrt{2gH}\frac{\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}},$$

Donc, enfin :

$$D=lH\sqrt{2gH}\frac{h\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}},$$

Je n'ai examiné dans cette note qu'un cas particulier de la dépense des déversoirs; cette formule résoudra encore le même problème avec des dispositifs différents de celui que j'ai supposé, ainsi que je le ferai voir prochainement.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE STRIAGE DES ROCHES DU AU PHÉNOMÈNE ERRATIQUE, SUR LA FORMATION DES GALETS, DES SABLES ET DU LIMON ET SUR LES DÉCOMPOSITIONS CHIMIQUES PRODUITES PAR LES AGENTS MÉCANIQUES.

Par M. DAUBRÉE, ingénieur en chef des mines.

Les appareils et les forces que nous pouvons mettre en jeu sont toujours bornés; ils ne peuvent imiter les phénomènes géologiques qu'en les rapetissant à l'échelle de nos moyens d'expérience. L'expérimentation n'a donc pas ici la même valeur que dans l'étude des phénomènes physiques ou chimiques. Aussi les méthodes expérimentales tiennent-elles jusqu'à présent très-peu de place dans les recherches de la géologie. Utilité de l'expérimentation dans la géologie.

On peut néanmoins aborder ainsi beaucoup de questions, sinon pour les résoudre complétement, au moins pour les éclairer et en préparer la solution. Si en effet la nature a employé des procédés très-divers pour arriver au même but, on peut aussi, en variant soi-même les moyens que l'on met en œuvre, chercher à définir nettement les conditions compatibles ou incompatibles avec chaque phénomène, de manière à les circonscrire dans des limites de plus en plus resserrées et à rétrécir ainsi le champ des hypothèses.

Je me suis proposé ce but dans la plupart de mes travaux géologiques, et, en cherchant, dans l'étude des faits généraux, tous les moyens d'arriver à quelques idées préconçues sur les causes des phénomènes, je me suis

appliqué à soumettre plus tard ces vues spéculatives au contrôle de l'expérience. C'est ainsi que chacune de mes observations géologiques a presque toujours une contre-partie expérimentale, de même que chaque fait constaté par l'expérience n'a été qu'un moyen d'induction pour aborder l'étude de quelque phénomène naturel.

Dans ces nouvelles recherches, j'ai étudié les conditions purement mécaniques de certaines particularités que présente la forme extérieure des roches dans les diverses régions du globe; j'ai été ainsi conduit à les étendre à la formation de matériaux divers de désagrégation qui tiennent une place considérable dans l'écorce terrestre. Les questions qui se rattachent à cette formation pourraient, au premier abord, paraître tellement simples qu'il était superflu de les soumettre à un examen approfondi; mais les phénomènes qu'on néglige parce qu'ils paraissent trop connus sont souvent ceux qui, en réalité, restent le plus longtemps obscurs.

La première partie de mon mémoire a pour but l'imitation expérimentale des surfaces polies et striées qui sont une conséquence du phénomène erratique. Dans la seconde j'étudie les matériaux qui résultent de l'opération mécanique et les altérations chimiques qui s'y rattachent.

PREMIÈRE PARTIE.

IMITATION DES SURFACES POLIES ET STRIÉES LORS DU PHÉNOMÈNE ERRATIQUE.

Importance du phénomène erratique.

Des étendues assez considérables de la surface du globe, telles que la Scandinavie et l'Amérique boréale, doivent les derniers traits de leur modelé à des frottements énergiques dont les traces sont souvent demeurées gravées en caractères ineffaçables à la surface du sol.

Quoique ces effets soient bien connus, j'en rappellerai brièvement ici les caractères essentiels (1). Ses caractères généraux.

Des sillons et des stries innombrables couvrent toutes les roches assez dures pour les recevoir et assez résistantes pour les conserver. Un même sillon se poursuit quelquefois sur 15 mètres et davantage; puis un autre lui succède. Les parois de ce sillon portent une multitude de stries, en général parallèles à celle de la cannelure principale; la largeur de celle-ci va quelquefois jusqu'à 50 centimètres. C'est surtout sur les surfaces faiblement inclinées que le phénomène se présente avec régularité. Cependant des surfaces verticales présentent quelquefois des sillons latéraux qui y ont été creusés horizontalement. Quand une partie très-dure, telle qu'un rognon de quartz se rencontre sur la roche, elle est restée en saillie et a même protégé en aval la surface voisine, qui forme un bourrelet allongé dans le sens des stries et vient ensuite se raccorder insensiblement avec la surface striée. Formes particulières des sillons et des stries.

La configuration des proéminences de toute dimension, rochers, collines ou îles, est en général en relation évidente avec la cause qui a tracé les sillons. Ainsi les collines sont souvent arrondies, cannelées et striées d'un côté, tandis que les formes anguleuses du côté opposé contrastent de la manière la plus frappante avec la configuration adoucie du côté frotté. Ce type se reproduit aussi bien sur les aspérités étendues que sur les moindres proéminences. Forme imprimée aux aspérités polies et striées.

Quant à la direction des sillons et des stries, elle est en général assez uniforme sur des surfaces faiblement ondulées, telles que la Suède et la Finlande et le nord des États-Unis. Dans les régions montagneuses, telles Relation de la direction avec la topographie du sol.

---

(1) Voir particulièrement le rapport de M. Élie de Beaumont sur le mémoire de M. Durocher, relatif au phénomène erratique du Nord (*Comptes rendus de l'Académie*, 17 janvier 1842).

que la Norwége, les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, les traces de frottement divergent en général, comme les axes des vallées qui en rayonnent. Dans les Alpes, ces accidents s'élèvent jusqu'à 2,500 mètres.

Incertitude sur l'origine de ce phénomène.

Le phénomène qui nous occupe, comme le transport des blocs erratiques qui s'y rattache, est l'un des plus remarquables de la géologie. Depuis longtemps l'objet d'observations de Saussure, de Pallas et de Léopold de Buch, il a particulièrement attiré l'attention pendant ces vingt-cinq dernières années. Malgré ces études, et quoique la période à laquelle appartient le phénomène soit bien rapprochée de nous, son origine n'est pas encore éclaircie. Des courants boueux chargés de pierres, des glaciers agissant sur de vastes étendues qui en sont aujourd'hui dépourvues, ou enfin des masses de glaces animées d'un mouvement rapide : tels sont les agents moteurs auxquels les géologues ont attribué le transport des matériaux solides qui ont labouré les roches et les ont couvertes de traits de burin.

Conditions à réaliser par l'expérience.

Pour imiter autant que possible les conditions de la nature, j'ai fait frotter du sable, des galets et des fragments anguleux de roche sur une autre roche. Ces matériaux étaient pressés par un bloc de bois et pouvaient marcher à des vitesses et sous des pressions variées. La masse à frotter était granitique comme les roches les plus dures; les matériaux frotteurs étaient quartzeux ou feldspathiques, comme ceux qui paraissent avoir été mis en jeu presque partout; ils étaient donc à peu près de la même dureté que la masse sur laquelle ils devaient agir.

1° Appareil semblable à celui employé par Coulomb pour l'étude des frottements.

L'appareil dont je me suis d'abord servi a à peu près la disposition de celui qui a servi à Coulomb pour déterminer les lois du frottement. La plaque de granite à strier, longue de 80 centimètres et de forme plane, est

maintenue horizontalement sur un châssis solidement établi. Les galets sont enchâssés dans un bloc de bois de charme. A ce bloc est fixée une corde qui s'étend horizontalement jusqu'à une poulie de renvoi, et qui supporte à son extrémité un plateau. Selon le poids dont on charge ce plateau, on peut donner au chariot des vitesses plus ou moins grandes. Au-dessous du bloc de bois est d'ailleurs fixé, au moyen d'un étrier, un second plateau en bois qui est destiné aussi à recevoir des poids et à régler la pression du frotteur.

2° Galets soumis à un compresseur adapté à la machine à raboter.

Cette première disposition qui exige beaucoup de place et un appareil particulier peut être remplacée par la machine à raboter la fonte qui est ordinairement employée dans les ateliers de construction de machines. La plaque de granite, fixée à boulons sur la table de la machine, est entourée d'une auge en bois, de manière à pouvoir être maintenue humide. Les fragments de roche qui doivent strier sont pressés par une pièce de bois de forme carrée qui est adaptée au porte-outil. Cette pièce de bois ou *compresseur* entre à frottement doux dans un prisme creux en bois de même forme, qui lui sert comme de gaîne, de telle sorte que les galets frotteurs sont maintenus et ne peuvent se soustraire à la pression. On charge le compresseur à volonté au moyen d'un levier. Dans ce second appareil, la plaque à strier est mobile, tandis que le compresseur est fixe; ce qui est indifférent pour le résultat à atteindre. A l'aide d'une disposition assez simple, la vitesse pouvait varier, dans l'appareil mis en usage, de 1 à 83 centimètres par seconde.

3° Galet monté sur le gradin de la machine à aléser.

Enfin, pour examiner plus exactement les conditions nécessaires au striage, j'ai encore fait agir des galets isolément en les enchâssant dans le mandrin d'une machine à aléser; puis je les pressais par des poids va-

riables. La vitesse du caillou pouvait, à l'aide de diverses combinaisons de roues dentées, varier dans des limites très-étendues.

Causes d'erreur.

Avant d'indiquer les résultats obtenus, je m'empresse de remarquer que les valeurs numériques ne sont sans doute pas susceptibles d'une rigueur mathématique, et cela pour plusieurs motifs. D'abord, il y a nécessairement un certain arbitraire sur la force des stries dont on commence à tenir compte. Elles sont d'ailleurs plus ou moins facilement gravées, selon la forme du galet frotteur et selon le poli de la surface. En outre, en supposant connue la pression exercée sur la tête de chaque caillou, la pression correspondante au millimètre de contact est d'autant plus difficile à apprécier que la dimension de cette surface se modifie à chaque instant par l'usure. Enfin, la force d'inertie qui influe au commencement du mouvement est une cause de perturbation sensible, surtout si le trajet n'est pas très-considérable.

Relation entre la vitesse et la pression.

Quoi qu'il en soit, il ressort des séries d'expériences qui ont été faites et qui se contrôlent mutuellement, des résultats qui méritent d'être signalés.

A l'aide des deux premiers appareils, je suis arrivé à imiter, jusque dans leurs moindres particularités, les surfaces cannelées et striées par le phénomène erratique. Il n'est pas nécessaire pour cela de recourir à des pressions, ni à des vitesses très-considérables.

Les deux éléments, c'est-à-dire la pression exercée sur les galets frotteurs et la vitesse à imprimer à ces galets pour qu'ils *commencent* à buriner des stries bien distinctes, varient en sens inverse l'un de l'autre. J'ai constaté ce fait en faisant varier les vitesses de $0^{mm},0025$ à $2^{m},50$ par seconde, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 1.000.000. Ainsi, par exemple quand la vitesse est inférieure à 0,1 de millimètre, la pression

exercée sur un caillou arrondi doit être au moins de 100 kilogrammes, tandis que le même caillou, avec une vitesse de 40 millimètres, c'est-à-dire 400 fois plus grande, n'a plus besoin que d'une pression de 5 kilogrammes. La vitesse plus ou moins grande d'un coup de rabot paraît avoir des influences semblables sur la force des copeaux qu'il enlève.

Si l'on porte les deux valeurs comme abscisses et comme ordonnées sur deux axes rectangulaires, et que l'on cherche à réunir les points ainsi déterminés, la courbe obtenue rappelle une branche d'hyperbole qui aurait pour asymptotes les axes de coordonnées.

Quand on augmente la vitesse ou la pression, ou ces deux valeurs simultanément, les stries obtenues deviennent plus profondes et plus larges, à moins toutefois que la pression ne soit assez grande pour écraser les fragments. Ainsi la courbe, il faut bien le remarquer, ne représente que les *limites inférieures* de ces deux éléments.

Modifications dans la forme des fragments frotteurs.

A chaque instant de leur mouvement les galets frotteurs subissent eux-mêmes des changements. On les voit s'user avec rapidité et souvent s'écraser sur leurs angles, de telle sorte que si l'appareil permet aux fragments de tourner sur eux-mêmes, d'anguleux qu'ils étaient d'abord, ils s'arrondissent bientôt. Il suffit souvent d'un parcours de quelques dizaines de mètres pour qu'ils se transforment en véritables galets; il se forme en outre du sable de forme anguleuse.

Changements dans le caractère des entailles qu'ils produisent.

Par suite de cette modification incessante, l'entaille que le fragment de roche sculpte sur la plaque change lui-même continuellement de caractère. Avant d'être fortement émoussé, le galet trace une strie, tandis qu'après s'être aplati ou s'être faiblement déplacé, il creuse un sillon dont le rayon de courbure est en rapport avec la forme du fragment. Ainsi un même galet produit



successivement des stries et des sillons, chacune de ces variétés d'entailles ne pouvant s'étendre sur quelques mètres sans changer de caractère. D'ailleurs, de nouveaux fragments suivent et viennent graver sur les sillons laissés par leurs devanciers, des stries qui seront effacées à leur tour.

Les galets strient plus facilement que le sable.

On a souvent attribué les stries à l'action du sable; on voit par l'expérience qu'elles peuvent être tracées par les galets, et qu'elles le sont même bien plus facilement par des fragments d'une certaine grosseur que par le sable proprement dit; car celui-ci s'écrase bientôt, s'il est maintenu dans le corps pressant avec une fixité suffisante.

Striage des roches par d'autres moins dures.

Non-seulement des matériaux de même dureté mordent parfaitement l'un sur l'autre, comme nous venons de le voir, mais une roche relativement molle peut strier une roche dure, si elle est animée d'une vitesse suffisante. Du calcaire lithographique bien pur, doué d'une vitesse de 40 centimètres par seconde et pressé seulement à raison de 35 kilogrammes par millimètre quarré, peut très-nettement strier le granite. Ces stries, tout en étant parfaitement distinctes, sont plus fines que dans le premier cas; la plaque striée prend en même temps un certain poli dû à l'action de la poussière fine qui travaille à côté des fragments anguleux du calcaire.

On voit donc que l'action des matériaux, les uns sur les autres, ne dépend pas seulement de la dureté, mais aussi de leur vitesse.

La glace peut servir de compresseur, de même que le bois.

Au lieu de presser sur les cailloux par l'intermédiaire d'une pièce de bois, on peut se servir de la même manière d'un bloc de glace (eau congelée). Bien que la glace soit souvent bulleuse et un peu compressible, elle force, sans s'écraser, les galets à tracer des stries.

Si les galets, au lieu d'être pressés au moyen d'un corps solide, sont soumis *sans intermédiaire* à la pression d'une masse pâteuse, telle que de l'argile humide, l'effet obtenu est tout différent de ceux que nous venons de signaler. Au premier instant que le galet est en contact avec la roche, il peut encore entamer un commencement de strie; mais n'étant plus forcément maintenu contre l'obstacle à vaincre, il ne peut prolonger son entaille : il est en général immédiatement refoulé à distance dans l'intérieur de la masse pâteuse, où il reste noyé et inactif; si l'argile est suffisamment délayée, il roule sans avoir la force suffisante pour pénétrer.

Si la pression est exercée par des masses molles, les effets sont tout différents.

Je ne ne prétends nullement que, dans des conditions autres que celles que j'ai réalisées, on ne produise pas de stries. Si les galets, au lieu de former un lit mince à la base de la masse pâteuse, étaient accumulés sur une assez grande épaisseur, pour se serrer et se caler les uns les autres, peut-être en obtiendrait-on des effets voisins de ceux que produisent les corps solides. Je ne voudrais pas aller au delà des résultats immédiats de mes expériences.

J'ajouterai encore que les stries, dues à l'action immédiate du caillou, sont en général rugueuses et comme déchirées; mais les poussières fines résultant de la trituration, et les masses molles, telles que la glace, qui viennent superposer leur action, adoucissent et polissent les surfaces primitives : comme dans le travail artificiel du marbrier ou du lapidaire, le dégrossissage est souvent suivi d'un polissage.

Polissage qui accompagne souvent le striage.

Quand des cailloux sont enchâssés dans une masse solide, telle que la glace, de manière à faire saillie, la pression qui s'exerce sur eux peut être égale à une partie très-notable ou même à la totalité du poids de la masse supérieure, selon la manière dont ce dernier poids

Des blocs de glace ou de roche de faible épaisseur peuvent strier facilement.

se répartit sur les points d'appui. C'est ainsi que j'ai observé des stries fort nettes tracées sur un quartz très-dur par l'action des meules qui servent à broyer le même minéral à la fabrique de cailloutage de Sarreguemines, bien que ces meules n'aient qu'une épaisseur de 28 centimètres (la vitesse des morceaux de quartz qui strient est d'environ $1^{m},30$ par seconde). Par le même motif, des blocs de glace, lors même qu'ils sont de faible épaisseur, portant sur la roche par l'intermédiaire de quelques cailloux, peuvent aussi facilement strier cette roche.

DEUXIÈME PARTIE.

MATÉRIAUX RÉSULTANT DES ACTIONS MÉCANIQUES DANS LES EAUX : GALETS, SABLES DE DIVERSES ORIGINES ET LIMON.

Lacunes dans l'observation du phénomène.

Rien ne paraît plus simple et mieux connu que l'histoire des galets, des sables et du limon ; nous les foulons de toutes parts sous nos pieds, et, à l'état incohérent ou aggluliné, ils occupent un large développement dans la série des terrains stratifiés. Cependant, à part quelques faits généraux, la formation de ces matériaux est loin d'être réellement éclaircie.

Bien que le lit des torrents et des fleuves et surtout le littoral des mers nous offrent continuellement en activité le phénomène de l'usure mutuelle des roches en mouvement dans les eaux, l'observation directe ne suffit pas pour en apprécier toutes les circonstances. Nous ne pouvons suivre la manière et la rapidité avec laquelle les fragments anguleux s'arrondissent et diminuent graduellement sous les frottements et les chocs. Les sables et les limons qui résultent de ces actions incessantes sont immédiatement triés et emportés par les eaux, sans qu'on puisse en étudier les caractères. D'ailleurs, il serait souvent impossible de distinguer les sables formés jour-

nellement de ceux qui préexistaient dans le lit du fleuve ou sur la plage, et qui proviennent tout simplement du remaniement d'anciens dépôts.

Il n'est pas toutefois besoin d'un examen bien attentif pour reconnaître que les innombrables variétés de sable appartiennent à plusieurs types distincts; la connaissance des conditions dans lesquelles chacun de ces types s'est produit éclaircirait l'histoire des terrains sédimentaires et la géographie physique des anciennes mers qui n'ont cessé de travailler à démolir l'écorce solide du globe.

J'ai donc cherché depuis longtemps, à l'aide d'une série d'expériences directes, le moyen de combler les lacunes que présente nécessairement l'observation du phénomène naturel. Lors même qu'on ne l'imiterait pas dans toute sa complexité, on peut certainement en préciser diverses circonstances, en les isolant.

Disposition de l'appareil adopté.

Les mouvements principaux des galets dans la nature peuvent être imités avec assez de fidélité, au point de vue des frottements et des chocs qu'ils subissent, au moyen de quelques appareils mécaniques peu compliqués. L'un des plus faciles à employer consiste en un cylindre horizontal dans lequel les matériaux sont placés avec de l'eau, et auquel on donne un mouvement de rotation autour de son axe (1). Cette vitesse peut varier à volonté; j'ai adopté, dans la plupart des expériences dont je rends compte, un mouvement de translation de $0^m,80$ à 1 mètre par seconde.

Principaux résultats de l'expérience.

Si l'on place dans cet appareil des fragments anguleux de roches, ils se transforment bientôt en galets et sable et en limon.

1er produit: galets.

J'ai opéré de préférence sur les roches les plus dures

(1) Il faut un cylindre facile à ouvrir et qui cependant retienne bien l'eau.

et les plus répandues dans les terrains détritiques, sur le granite commun et sur le quartz. Des fragments anguleux de l'une ou de l'autre roche, de la grosseur d'un poing à celle d'une noisette, étant mis en mouvement dans les conditions dont nous venons de parler, ils s'arrondissent rapidement. Après un trajet de 25 kilomètres seulement, les angles sont parfaitement arrondis, et les galets obtenus ne peuvent être distingués des galets naturels, ni pour les formes, ni pour l'aspect.

Réduction des galets par usure ou par concassement.

Comme il est facile de le comprendre, l'usure se fait avec rapidité tant qu'elle peut s'attaquer à des contours anguleux; mais elle décroît à mesure que les arêtes s'émoussent davantage. Dès que les fragments sont tout à fait arrondis, ils ne s'amoindrissent plus qu'avec une lenteur excessive, à moins toutefois qu'ils ne se concassent par le choc. Ce dernier cas arrive assez fréquemment aux plus petits, ainsi qu'on le constate facilement en comptant les galets à diverses époques de leur parcours.

Usure rapportée au kilomètre de parcours.

Par quelques expériences, j'ai constaté que pour les 25 premiers kilomètres parcourus, des fragments anguleux de granite ont perdu 4/10 de leur poids; tandis que, pour le même parcours, des fragments déjà complétement arrondis n'ont plus perdu que 1/100 à 1/400, c'est-à-dire 4/1000 à 1/1000 par kilomètre (1).

(1) On a remarqué en général dans les cours d'eau que les galets vont en décroissant de la source à l'embouchure. Cette diminution n'est pas due seulement à l'usure, comme nos expériences le prouvent. J'ai étudié le mécanisme qui l'a produite au moyen d'une lunette de 2 mètres qui plongeait dans le Rhin, et permettait d'en examiner le fond. On voyait de temps en temps du sable, de petits galets entraînés, parcourir un trajet de quelques décimètres; puis un gros galet ainsi déchaussé s'ébranlait à son tour, mais franchissant seulement quelques centimètres, il se trouvait ainsi en retard sur ceux qui

Le principal produit de l'action mutuelle des fragments de roche solide qui s'usent dans le sein des eaux n'est pas du sable, comme on l'a souvent prétendu, mais du limon. 2° produit : limon fin.

Ce limon est en général impalpable et d'une ténuité telle qu'il reste plusieurs jours en suspension dans l'eau. Il est très-plastique; par la dessiccation il se prend en masses si solides qu'on ne peut toujours le briser sans l'aide d'un marteau. Il ressemble ordinairement beaucoup aux argiles schisteuses du terrain houiller, et quand il provient de la destruction du granite, il est parsemé de petites lamelles de mica, comme ces dernières. On ne saurait d'ailleurs distinguer ce résidu de l'usure artificielle des granites de celui qui s'accumule journellement sur une partie du littoral de la Norwége.

La désagrégation mécanique n'est pas le seul phénomène. En effet, en mettant en mouvement dans de l'eau pure des fragments de granite qui ne présentaient aucun indice d'altération, j'ai constaté qu'après quelques dizaines d'heures, cette eau se charge, même à froid, d'une quantité très-notable de silicate de potasse. Après un parcours de 160 kilomètres, 3 kilogrammes de granite ont donné 3,3 grammes de sels solubles consistant principalement en silicate de potasse. Décomposition du feldspath très-divisé par l'eau froide.

Ce phénomène est analogue à divers faits déjà constatés par Vauquelin, M. Chevreul, M. Becquerel et M. Pelouze. Il a d'ailleurs, au point de vue géologique et agricole, des conséquences sur lesquelles je crois hors de propos d'insister ici.

D'un autre côté, le limon de trituration paraît avoir fixé une certaine quantité d'eau, ce qui porterait à conclure qu'elle est entrée dans quelque combinaison Nature du limon granitique.

l'avaient devancé. Un tel triage, constamment répété, finira nécessairement par produire le classement des galets par ordre de grosseur, tel qu'on l'observe dans toutes les vallées.

nouvelle comparable aux argiles. Ce qui domine cependant dans cette boue plastique, ce sont les anciens éléments du granite; car elle reste fusible au chalumeau. Elle rappelle complétement, par toutes ses propriétés, certains phyllades ou schistes de transition, dont la composition moyenne est, d'après M. Bischof (1), la même que celle des granites. Ces phyllades pourraient donc bien n'être, pour la plupart, que de la boue granitique.

Il existe des argiles qui présentent d'autres caractères que ces limons feldspathiques. Il faut donc reconnaître une différence entre ces produits du frottement et les argiles infusibles; ces dernières paraissent résulter d'une décomposition profonde des silicates; Ebelmen l'a depuis longtemps démontré.

2° produit : sable.

Outre le limon, il se produit encore, dans la trituration des roches quartzeuses, du sable proprement dit.

Son extrême ténuité.

Malgré les chocs violents qui résultent d'une vitesse comparable à celle des vagues les plus rapides, les éléments du granite ordinaire n'éprouvent jamais une simple désagrégation, à moins que le feldspath ne soit en décomposition préalable. Le tout se pulvérise, et le peu de sable qui se forme en même temps que le limon est toujours très-fin. Les fragments les plus gros n'ont jamais dépassé le grain des sables de Fontainebleau; leur diamètre n'atteint pas un quart de millimètre.

Forme anguleuse de ses grains.

Les grains de ce sable artificiel ne sont arrondis qu'accidentellement. On reconnaît sous la loupe qu'ils sont entièrement composés de quartz en fragments anguleux, entremêlé de quelques paillettes de mica.

Extrême rareté du feldspath.

Le feldspath a disparu à peu près entièrement, quoiqu'il domine de beaucoup dans la roche granitique. Il est entièrement passé dans le limon, et cette circon-

(1) Bischof. *Lehrbuch der chemische Geologie*, t. II.

stance s'explique parfaitement par la facilité de ses clivages et par la réaction chimique qu'il exerce sur l'eau dans cet état de division extrême.

Faits semblables dans les divers terrains.

Il en est de même sur les falaises où une roche granitique altérée est soumise à la trituration des vagues; elle ne fournit qu'un sable quartzeux, pauvre en feldspath.

C'est par le même motif qu'en dehors des grès arkoses qui ont, pour ainsi dire, été formés sur place, les grès à débris feldspathiques sont rares. Cette circonstance peut faire supposer que certains grès quartzeux et micacés, à grains anguleux, sont un produit de la trituration granitique (1).

Origine des sables grossiers.

Puisque des sables grossiers ne peuvent résulter de la trituration du granite et des roches quartzeuses, il faut chercher ailleurs leur origine.

Sable formé par la trituration des glaciers.

Quand les roches, au lieu de se broyer dans le choc mutuel des galets agités par l'eau, s'écrasent sous la pression des glaciers, elles produisent aussi du sable, mais il est composé de débris anguleux et irréguliers de toute grosseur. Ils sont continuellement entraînés et rejetés par le torrent qui sort du glacier et qui en fait le triage.

Le quartz y prédomine; il y est souvent accompagné de mica (ou de chlorite dans les Alpes). Mais le feldspath y est aussi d'une extrême rareté; par conséquent, il doit disparaître dans cette opération par des causes du même genre que dans les sables d'origine aqueuse.

Son imitation.

Je rappellerai d'ailleurs ici que j'ai obtenu des sables tout à fait comparables aux sables des glaciers par leur

---

(1) Dans les mêmes circonstances, le calcaire fournirait uniquement du limon; aussi ne connaît-on guère de sable purement calcaire, à part celui qui provient de la simple désagrégation de certains calcaires, tels que le calcaire oolithique, le calcaire à milliolites, où les globules préexistaient.

irrégularité, quand j'ai, à la manière des glaciers, opéré la trituration des roches par pression et par frottement.

Importance des dépôts détritiques produits par les glaciers actuels.

Bien que les glaciers occupent une faible partie de la surface du globe, la quantité de débris de toute dimension, produite par leur action triturante, ne laisse pas que d'être considérable.

Ainsi, le seul glacier de l'Aar, qui, avec ses affluents, n'a qu'une surface de 10 kilomètres carrés, fournit par jour, d'après les observations de M. Dollfus-Ausset, 100 mètres cubes de sable, qui est emporté par le torrent (1). L'*ablation* des vallées par les glaciers paraît donc bien supérieure à celle que produisent la plupart des cours d'eau, à égale superficie du bassin. Aussi les glaciers des régions polaires doivent-ils fournir journellement d'énormes volumes de sable que les courants provenant de la fusion des glaces vont porter dans toutes les régions de l'Océan, et jusque sous l'équateur. Depuis qu'il existe des glaciers, les mers reçoivent des quantités considérables de sable formé par ce second procédé.

Sable de désagrégation sur place du granite et d'autres roches quartzeuses.

Quand le granite se décompose et se désagrége *sur place*, son quartz s'isole en petits fragments. Ces fragments sont anguleux, de forme tout à fait irrégulière, sans indice de faces cristallines. Cette irrégularité résulte des tressaillements qui divisent le quartz, même dans les granites vierges.

Toute roche quartzeuse qui se désagrége peut également donner lieu à l'isolement de petits fragments de diverses dimensions.

Quartz des arkoses en général de même forme.

L'aspect de beaucoup d'arkoses de la Bourgogne, de l'Auvergne et d'autres contrées participe aux caractères dont nous venons de parler. Le quartz y est anguleux; il

(1) Collomb. Mémoire sur les glaciers actuels (*Annales des Mines*, 5e série, t. XI, p. 198).

est d'ailleurs entremêlé d'une quantité variable de feldspath plus ou moins altéré et de mica. Il résulte visiblement d'un simple remaniement par l'eau de l'arène granitique, sans chocs ni frottements. Il est d'ailleurs difficile de distinguer dans la plupart de ces roches la part de la formation arénacée et de la formation chimique.

Limpidité particulière au sable fin.

Le quartz des granites n'est pas toujours transparent; quelquefois il est comme enfumé et faiblement translucide quand on l'examine en gros grains. Ce défaut de transparence du quartz n'est souvent que le résultat des petites fissures qui le traversent; car, réduit en poussière, il devient tout à fait translucide. C'est parce qu'on n'a pas tenu compte de cette circonstance que l'on a souvent été induit en erreur, en croyant que le quartz de certains sables fins, d'une limpidité parfaite, ne pouvait pas provenir de la destruction de roches granitiques (1).

Sables de différents types, provenant d'une même roche.

Il résulte de ce qui précède que les mêmes roches peuvent fournir des sables dont les caractères sont tout opposés, suivant que leur décomposition a été, ou non, accompagnée de trituration.

Sables cristallisés.

Outre les trois sortes de sables détritiques dont nous venons de nous occuper, il en est d'autres tout différents: ce sont les sables cristallisés.

Toute forme cristalline est la preuve d'une dissolution et d'une formation chimique : l'origine de ces sables ne saurait donc être douteuse. Mais il n'est pas moins évident qu'il ne faut pas confondre avec eux, comme l'ont fait divers auteurs, les sables à grains fragmentaires qui se rapportent, je l'ai fait voir, à des formations détritiques. Je réserverai le nom de *sable cristallisé* à ceux dont chaque grain est un cristal complet, un

(1) Gerhard. *Abhandlung der Berliner Academie*, années 1816 et 1817.

fragment de cristal ou une druse globulaire de cristaux.

Exemple du grès des Vosges.

Le meilleur exemple que l'on puisse citer des sables cristallisés est sans doute la formation du grès des Vosges et du grès bigarré.

Depuis longtemps M. Élie de Beaumont a signalé dans le premier des grains à facettes cristallines (1). Le plus souvent ce sont des globules hérissés de nombreux pointements et rappelant certains rognons de pyrite (2). On y trouve aussi des cristaux complets aussi nets que les *hyacinthes de Compostelle*. Les arêtes des cristaux sont vives et sans trace d'usure.

Aucune roche connue ne produirait un pareil sable par sa désagrégation (3). Il est d'ailleurs d'autres preuves de son origine chimique; on y trouve continuellement des galets partiellement incrustés de quartz cristallisé; ce quartz est ordinairement accumulé à leur surface supérieure, tandis que le bas est resté lisse.

La précipitation du sable cristallisé n'est point accidentelle, quoiqu'elle ne se rencontre pas dans beaucoup de formations géologiques. Elle tient dans quelques-unes d'entre elles une place importante. Ainsi on en rencontre presque partout des exemples dans la chaîne des Vosges, en France et dans le Palatinat, ainsi que dans la Forêt-Noire. M. Hoffmann signale un grès semblable aux environs de Eisleben et M. Gutberlet le long des montagnes du Rhön, près Fulda; le grès bigarré

(1) Observations géologiques sur les différentes formations qui séparent la formation houillère de celle du lias (*Annales des mines*, 2e série, t. I, p. 406).

(2) *Description géologique du Bas-Rhin*, p. 90.

(3) Les grains de quartz, souvent en cristaux complets, qui sont disséminés dans le porphyre feldspathique, diffèrent par leur forme et leurs caractères physiques des sables cristallisés du grès des Vosges; ce dernier ne peut donc provenir de la démolition du porphyre.

de Commern, si abondamment imprégné de galène, est souvent presque entièrement cristallisé.

Ce dépôt chimique se retrouve donc disséminé partout, dans une formation de l'Europe centrale qui n'occupe pas moins de 150.000 kilomètres quarrés, et atteint parfois une épaisseur de 400 mètres.

La silice en dissolution dans les eaux peut sans doute en être précipitée par des réactions diverses que nous connaîtrons un jour; mais une précipitation à la fois aussi étendue et aussi exceptionnelle que celle du grès des Vosges doit se lier à des phénomènes géologiques particuliers.

Explication du fait par l'expérience.

On sait que pendant la période permienne il s'est épanché dans la mer de puissantes nappes de porphyre feldspathique. Dans une grande partie de son étendue, ce porphyre contemporain du grès rouge est à l'état terreux, ce qui lui a valu en Allemagne le nom de *thonporphyr*. Les cristaux de feldspath, et la pâte feldspathique elle-même, sont en effet réduits à l'état de kaolin.

Selon toute probabilité, la décomposition qui a privé le porphyre de silicate alcalin s'est produite avant que la roche fût complétement refroidie. Cette solution de silicate alcalin, produite aux dépens de la roche, a pu, en s'épanchant dans la mer, y précipiter du quartz exactement, comme dans les expériences où j'ai produit le quartz en cristaux au moyen du silicate emprunté au verre ou à l'eau de Plombières.

Relation avec l'apparition du porphyre.

Une autre observation est tout à fait à l'appui de l'explication que je viens d'émettre. J'ai en effet constaté dans les Vosges que les couches arénacées antérieures du porphyre ne renferment pas de sables cristallisés, tandis que le caractère cristallin est éminem-

ment prononcé dans les couches du grès des Vosges qui sont superposées aux épanchements porphyriques. La date à laquelle le sable cristallisé a commencé à se former n'est donc pas douteuse; elle coïncide bien ici avec l'apparition du porphyre.

Fait semblable au Pérou.

D'autres contrées nous montrent une semblable relation des sables cristallisés avec les porphyres.

M. Crosnier, en effet, a cité une formation de grès et de sables parfaitement cristallisés au Pérou, où ils se trouvent encore associés à des tufs porphyriques (1).

Rapprochement avec les couches métallifères.

Ainsi la formation de certains grands horizons de sables cristallisés paraît bien être en relation intime avec des dislocations du sol, des épanchements de roche éruptive ou des filons. L'arrivée des minéraux métallifères dans la couche de schiste cuivreux sur toute la largeur de l'Allemagne, dans les grès de la principauté de Waldeck où l'on exploite également le cuivre, ou enfin la pénétration de la galène dans le grès bigarré des environs de Commern, paraissent être des phénomènes en connexion avec celui dont nous venons de nous occuper; ils se lient en même temps aussi au remplissage des filons.

Sables cristallisés des terrains tertiaires.

Je n'affirmerai pas toutefois que l'existence d'un sable ou d'un grès cristallisé ait forcément pour cause le voisinage d'un porphyre ou d'une roche éruptive. Il ne faut pas, quand il s'agit de faits aussi complexes que les phénomènes géologiques, généraliser prématurément. Or on trouve dans les terrains tertiaires du bassin de Paris et de l'Allemagne des gisements de sable parfaitement cristallisé, sans qu'on puisse préciser les phéno-

---

(1) *Annales des mines*, 5e série, t. II, p. 5 et 74.

mènes d'éruption auxquels ils doivent être immédiatement attribués.

Température peu élevée à laquelle le sable cristallisé a pu quelquefois se former.

Le quartz de certains sables a entraîné en se déposant, et en mélange intime, du peroxyde de fer qui fournit une notion sur la température à laquelle les sables se sont formés. Dans le grès des Vosges, dont chaque grain est coloré en rose, la précipitation du quartz s'est faite dans les conditions de température où le peroxyde de fer devient anhydre. Il s'est au contraire précipité à l'état d'hydrate dans les sables tertiaires des environs de Düsseldorf; son quartz est en effet teint en jaune d'ocre, aussi bien que dans les gîtes de minerai de fer pisolithique de Saint-Pancré et d'Aumetz (Moselle). La température de la formation de ces derniers sables était donc nécessairement peu élevée. Nous n'avons pas d'ailleurs besoin de rappeler les fossiles animaux, les bois, les silex que l'on rencontre tapissés de quartz dans toutes les formations géologiques, et dans des conditions où il est impossible de supposer une élévation de température.

Le sable quartzeux précipité chimiquement a aussi parfois la forme de globules.

Le sable précipité par voie chimique n'est pas nécessairement cristallisé. Dans les géodes quartzeuses du calcaire grossier, on trouve des globules de calcédoine, parfaitement arrondis, qui ont été formés chimiquement tout aussi bien que les petits cristaux qui les accompagnent et auxquels ils passent quelquefois par des aspects intermédiaires. Ils rappellent les globules de geysérite observés par M. Descloiseaux dans les sources bouillantes de l'Islande. Certains sables formés de grains calcédonieux, à surface brillante, et n'agissant pas sur la lumière polarisée, peuvent être des précipités chimiques. J'en ai reconnu de ce genre dans les couches du minerai de fer oolithique du lias supérieur des environs de Longwy (Moselle). Il en existe aussi dans les sables du

grès vert (1), où une autre partie de la silice s'est combinée dans la glauconie.

Son état amorphe. Quelquefois même la silice a formé un précipité amorphe et pulvérulent. La silice soluble dans la potasse, que M. Sauvage a observée dans le grès vert (gaize) des Ardennes, en est un exemple (2).

Arrondissement du sable par voie mécanique. J'ai dit plus haut que, dans la trituration des roches, il se formait des sables fins et anguleux, et je n'ai cité de sables à grains globulaires qu'en leur attribuant une origine chimique.

Je me suis cependant convaincu qu'il se forme, dans des conditions spéciales, quoique assez fréquentes, des sables dont les grains ont été complétement arrondis par un procédé mécanique.

Conditions d'usure du sable. Dans ce cas, chaque grain de sable s'arrondit graduellement sur d'autres grains de même dimension, exactement comme les galets s'arrondissent entre eux. Mais il faut pour cela que ces grains soient tous assez gros pour ne pas flotter en suspension dans l'eau, et assez fins pour suivre le mouvement du liquide.

La dimension des grains qui peuvent flotter en suspension dans l'eau très-faiblement agitée, paraît être d'environ 1/10 de millimètre de diamètre moyen. Tout sable plus fin sera donc anguleux.

D'un autre côté, un courant ou une vague, dont la vitesse sera capable d'enlever ou de faire frotter un grain de 1/10 de millimètre, et qui, par conséquent, respectera sa forme, pourra faire au contraire frotter et user

(1) M. Schafhaütl a déjà fait cette observation pour certains sables de grès vert des Alpes bavaroises (*Dahrbuch für Mineralogie*, 1846, p. 648).

(2) *Statistique des Ardennes*, p. 559.

les grains plus volumineux : il les transformera alors lentement en sable globulaire.

J'ai vérifié ces faits par l'expérience. J'ai reconnu, par exemple, qu'avec un diamètre de 5/10 de millimètre, et un mouvement d'un mètre par seconde, le sable pouvait s'arrondir et perdre par kilomètre environ 1/10,000 de son poids. Cette perte si minime, malgré l'étendue des surfaces frottantes, tient à ce que la pression mutuelle est très-faible, à cause de la petitesse du poids de chaque grain.

Avec une plus grande vitesse, ce sable eût nagé dans l'eau; sa forme eût été respectée, et il n'aurait rien perdu de son poids.

Ces circonstances se retrouvent dans la nature, de sorte que nous pouvons rencontrer, à grosseur égale, des sables arrondis et des sables anguleux. Tout dépend du mouvement du milieu dans lequel ils sont formés. La limite des sables, comparée à leur grosseur, fournit donc une indication précise de leurs conditions originelles.

Limite d'usure.

D'après les observations qui précèdent, les grains de sable, balancés par les vagues, tendent à une dimension *limite*; cette dimension minima, pour des matériaux de même densité, dépend de la vitesse de l'eau dans laquelle ils se sont usés. De là ces grès formés de grains arrondis d'une uniformité de grosseur si frappante.

C'est une cause inverse de celle qui assigne une limite supérieure aux pisolithes de calcaire précipités par les sources thermales de Carlsbade. Ces *dragées*, comme on les désigne, sont d'abord agitées dans le bassin, par suite s'incrustent et grossissent, tant que leur poids ne les condamne pas à l'immobilité.

Influence de la densité.

Il est évident que ces résultats seront complétement

modifiés par la densité des matières, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, les plus denses tombent au fond. quand les plus légères sont déjà susceptibles de flotter. Cette observation n'est pas applicable aux sables les plus répandus dans la mer et dans les terrains stratifiés, où le quartz est le plus souvent seul; le feldspath, dont il est accidentellement accompagné, a d'ailleurs, à très-peu près, la même pesanteur spécifique. Il n'en est pas de même des sables des alluvions gemmifères et métallifères, dont les grains sont de densité variée. Dans ce dernier gisement, les matières les plus lourdes, comme le grenat, le fer titané, l'étain oxydé, sont, à dureté égale, plus fortement usées que les matières pierreuses; il en est de même des menues pépites d'or et de platine.

La dimension des fragments de ces divers minéraux est d'ailleurs généralement aussi en relation avec leur degré d'usure, tout aussi bien que dans les sables et les galets quartzeux. Les petits saphirs de Ceylan ont souvent conservé toute la fraîcheur de leurs arêtes, tandis que les gros cristaux des mêmes alluvions sont ordinairement tout à fait frustes.

Conséquences des faits qui précèdent.

Toutes les observations que nous venons de faire nous expliqueront diverses circonstances, en apparence contradictoires, que l'on rencontre à chaque pas dans les sables de formation contemporaine et dans ceux des terrains sédimentaires. Les applications qui en dérivent sont maintenant aussi faciles qu'elles sont nombreuses; aussi je crois inutile de m'étendre sur ce sujet.

J'ai constaté, dans mes expériences, que le sable qui provient de la trituration du granite était anguleux, et reste indéfiniment tel.

Il en est de même dans les cours d'eau; car les sables

anguleux, que les glaciers de l'Aar envoient à cette rivière, arrivent à Meyringen, après avoir tourbillonné dans de nombreuses cascades, tout aussi anguleux qu'à leur point de départ. Charriés dans le Rhin, ils ne sont pas plus arrondis à 300 kilomètres de distance de cette dernière localité. Pendant les mois de juillet et d'août, époque de la fonte principale des glaces, ils donnent encore aux eaux du fleuve, à la hauteur de Strasbourg, la teinte laiteuse bien connue de tous ceux qui ont observé les torrents sortant des glaciers. En filtrant plusieurs hectolitres de cette eau, j'ai constaté que la cause de sa coloration était non du limon, mais du sable en grains anguleux d'environ 1/20 de millimètre, et qui entre pour 2/100,000 du poids total.

Sur une partie des côtes de la Manche, les sables sont formés de silex concassés. On n'y remarque aucune transition du galet arrondi, de la dimension d'une noisette ou plus gros, au sable anguleux. Tous les intermédiaires disparaissent brisés sous l'action des vagues, par le choc des plus gros, jusqu'à ce qu'ils aient atteint l'état limite où leurs débris flottants ne peuvent plus recevoir de chocs, ni modifier leur forme par le frottement.

Pareilles circonstances ont dû se produire dans toutes les périodes géologiques, et former l'espèce de triage qui a étalé sur d'immenses étendues des sables à grains égaux et toujours anguleux. Il nous suffira de citer, comme exemples, le grès houiller de l'Angleterre et de la Belgique, le grès du lias de l'ouest de l'Europe, le grès molasse qui borde toute la chaîne des Alpes, le grès des Karpathes.

Les faits exposés dans la seconde partie de ce mémoire apprennent que chaque sable porte en lui-même une sorte de signalement de son origine et des con- Résumé.



ditions premières de sa formation. Leur examen peut donc nous offrir un instrument nouveau pour étudier plus profondément les circonstances physiques où se sont formés les terrains stratifiés à toutes les époques.

NOTES DE VOYAGE

SUR LA SIERRA-MORENA ET SUR LE NORD DE L'ANDALOUSIE.

Par M. LAN, ingénieur des mines.

Appelé à faire, pendant les deux années 1856 et 1857, l'étude industrielle de quelques districts minéraux de l'Espagne, j'ai particulièrement parcouru le versant sud de la Sierra-Morena et les contrées qui bordent le Guadalquivir, c'est-à-dire la province de *Huelva* et partie des royaumes de *Jaen*, *Cordoue* et *Séville*. Introduction.

Par la nature même des missions dont j'étais chargé, je dus étudier en même temps la géologie des contrées que je visitais, l'exploitation d'un certain nombre de gisements minéraux et les méthodes de traitement métallurgique des minerais de plomb et de cuivre. Dans un pays vers lequel les capitaux, et surtout les capitaux français, se sont récemment portés avec une grande ardeur, je devais aussi étudier toutes les circonstances propres à influencer son développement industriel. Mais les conditions où je suis placé ne me permettent pas de considérer encore ici ce dernier point de vue. Je me bornerai donc à rapporter les observations que, pendant un séjour total de deux ou trois mois, j'ai pu faire sur la géologie de ces contrées et sur des gisements métalliques importants qu'on y exploite.

Un peu plus tard, j'espère être en mesure de décrire les méthodes d'exploitation et de traitement métallurgique en voie d'installation ou de perfection-

nement sur plusieurs points de cette région de la Péninsule.

Au point de vue géologique, j'insisterai surtout sur les terrains tertiaires des environs nord de Séville, sur le terrain houiller de Villanueva-del-Rio, enfin sur une formation de grès rouge, encore peu ou point connue, de la vallée du Biar, affluent du Guadalquivir.

Quant aux gisements minéraux, je me propose spécialement de faire connaître une formation pyrito-cuivreuse très-remarquable qui occupe une grande partie de la province de Huelva. Je terminerai par quelques indications générales sur le district plombeux de Linarès.

Quoique ayant cherché à présenter surtout des faits, évitant de poser des conclusions trop formelles sur des contrées que je n'ai vues qu'une fois, j'ai eu quelquefois recours, pour compléter certains aperçus, à des publications françaises ou espagnoles; j'indiquerai toujours les sources où j'ai puisé.

I. GÉNÉRALITÉS SUR LA VALLÉE DU GUADALQUIVIR ET LE VERSANT SUD DE LA SIERRA-MORENA.

La plaine d'Andalousie, dont les bords du Guadalquivir forment le thalweg, s'étend, avec le fleuve, depuis la province de *Huelva* jusqu'aux environs de *Baylen* et de la Carolina, au nord du royaume de Jaen. Baignée par la mer, entre Séville et Huelva, elle s'élève peu à peu entre la *Sierra-Morena*, d'une part, et les montagnes de *Ronda*, *Moron*, *Jaen*, *Segura*, de l'autre, comme pour aller chercher un point de jonction avec les plateaux de la *Manche* ou du royaume de Murcie, dans l'angle très-aigu qui semble séparer ces deux lignes montueuses à l'est de *Baylen*, *Linarès* et la *Carolina*.

C'est surtout de la partie de cette plaine située au nord du fleuve qu'il sera question dans ce mémoire.

Division du versant sud de la Sierra-Morena en quatre tronçons principaux.

Lorsqu'on va de Madrid à Séville par la grande route d'Andalousie, une fois sorti des défilés sauvages au milieu desquels on traverse la partie orientale de la Sierra-Morena, on entre dans le bassin hydrographique du Guadalquivir. A partir de là, et tout en avançant vers Séville, si l'on examine à la fois les cours d'eau affluents du fleuve et l'orientation des diverses parties de la Sierra-Morena, on ne tarde pas à reconnaître que celle-ci est composée de plusieurs massifs d'allures assez indépendantes. Cependant on juge encore mieux de la superposition de ces divers massifs lorsqu'on pénètre dans la Sierra, soit par le méridien de Cordoue, soit par les gorges où coule le Guadiato, à l'ouest-nord-ouest de cette dernière ville. Si, placé sur l'une des hautes montagnes qui encaissent cette rivière, on fait face au nord, on a devant soi un premier ensemble de chaînons fort élevés, sensiblement orientés sur l'est-ouest, et se prolongeant approximativement depuis le méridien de *Cazalla* jusqu'à celui d'*Andujar*. A droite et à l'est de cette dernière ville, la Sierra-Morena s'infléchit très-nettement vers l'est-nord-est, paraissant se rapprocher de l'orientation de la Sierra-Segura, d'autant plus qu'on s'avance davantage vers la *Carolina*. A gauche du Guadiato, c'est-à-dire vers l'ouest-sud-ouest, une autre série de chaînons, relativement moins élevés au dessus du Guadalquivir, séparent les provinces de Séville et de Cordoue, et limitent la première au nord. Ce massif de montagnes commence auprès de *Lora-del-Rio;* s'élevant à peu près au nord-ouest, il se poursuit par le *Pedroso*, *Castil-Blanco*, *Santa-Olaya* jusqu'aux confins de l'Estramadure et de la province de Huelva. Enfin, dans cette dernière région de l'An-

dalousie, quoiqu'à vrai dire il n'y ait pas de chaîne de montagnes bien continue, les traits généraux du relief du sol sont orientés sur l'*E.* 10 *à* 15° S. — O. 10 *à* 15° N. On y trouve bien aussi quelques témoins d'une direction N.-N.-E., mais, au moins dans la partie orientale de la province, la seule que je connaisse, cette ligne n'est pas très-nettement accusée.

D'après ce qui vient d'être dit, on pourrait donc distinguer quatre tronçons principaux sur le versant sud de cette vaste chaîne qu'on nomme la Sierra Morena. Je les désignerai, dans la suite de ce mémoire, sous les noms suivants : *massif oriental*, au nord et au nord-est de la Carolina; *massif du Guadiato, au nord de Cordoue; massif du Biar et du Guezna*, au nord de Séville; *massif de la province de Huelva.*

Si, des formes orographiques du versant sud de la Sierra-Morena, je passe à l'ensemble des étages géologiques qui couvrent son étendue, on verra que les quatre tronçons dont il vient d'être question offrent des différences notables sous ce second point de vue.

Massif oriental. *Dans le massif oriental*, les hautes montagnes qui séparent, au nord de la Carolina, la Manche de l'Andalousie, sont composées de schistes et quartzites du terrain silurien inférieur (1). Ces roches se poursuivent jusqu'à *Alcaraz* (2) sur la direction indiquée plus haut. Au pied de ces escarpements schisteux, dans les vallées qui découpent l'espace compris entre eux et la haute chaîne de la Segura, et où coulent divers ruisseaux affluents du Guadalquivir, on voit souvent affleu-

(1) *Géologie du sud-est de l'Espagne;* par MM. de Verneuil et Collomb (*Bulletin de la société géologique*, t. XIII).

(2) *Ibidem.*

rer le granite. Je l'ai observé à *Santa-Elena*, auprès de *Linarès* et au sud-ouest de *Baylen*, dans le lit du *Rio-Campaña*. MM. de Verneuil et Collomb l'ont également rencontré au pont de *Genave* sous forme d'un îlot traversé par la rivière du Guadalimar (1). Sur les divers points où je l'ai vu dans le massif oriental, c'est généralement ainsi qu'il se présente, tantôt au milieu des schistes siluriens, comme à *Santa-Elena*, et entre la *Carolina* et *Linarès*, tantôt immédiatement sous les premières assises secondaires et tertiaires qui, à partir de là, s'étendent au sud dans la basse Andalousie, et, à l'est, dans la Manche ou dans le royaume de Murcie. Dans la seule région que j'ai parcourue, c'est-à-dire aux environs de *Baylen*, *Linarès* et la *Carolina*, les terrains tertiaires sont peu épais et représentés seulement par des alluvions et par quelques couches de calcaires marneux. Les formations secondaires sont représentées par des bancs presque horizontaux de grès rouge, appuyés tantôt sur les schistes, tantôt sur le granite, comme à *Linarès* et au *sud-sud-ouest* de *Baylen*. Je reviendrai, à propos des filons plombeux de Linarès, sur cette formation de grès; mais je puis dire immédiatement que leurs caractères lithologiques, comme leur allure stratigraphique, me semblent les rapprocher beaucoup de ceux décrits par MM. de Verneuil et Collomb comme appartenant au trias, qu'ils ont suivi, à travers les royaumes de Valence et de Murcie, jusque sur les bords du Guadalquivir, à *Véas* et à *Albaladejo*. J'ajouterai qu'on exploite du gypse à *Vilchès*, au N.-N.-E. de Linarès; je n'ai pas pu visiter ces exploitations, mais si j'en crois les renseignements

(1) *Géologie du sud-est de l'Espagne*; par MM. de Verneuil et Collomb (*Bulletin de la société géologique*, t. XIII).

qui m'ont été donnés, ce gypse serait dans le même terrain que ces grès rouges.

En résumé, le massif oriental de la Sierra-Morena serait donc composé d'un axe granitique, sous forme d'îlots assez généralement orientés sur le nord-est ou sur l'est-nord-est, lequel serait flanqué au nord-ouest par les hautes crêtes siluriennes de *Despeñaperros* et *Santa-Elena*, et couvert au *sud-est* par les premières assises des formations secondaires et tertiaires qui occupent la plus grande partie de l'Andalousie et de la Murcie.

Massif central ou du Guadiato.

Le massif du Guadiato est celui de tous où les étages paléozoïques sont le mieux représentés ; la partie haute en est à peu près exclusivement composée, et ce n'est qu'au pied de ses derniers chaînons sud, aux bords mêmes du Guadalquivir, qu'on voit les premiers témoins tertiaires et peut-être aussi secondaires. Le massif du Guadiato, tel que je le considère, est limité au nord par un affleurement granitique qui, partant de *Benalcazar*, se poursuit par *Hinojosa* jusques et même au delà de *Puerto-Blanco*, c'est-à-dire sur une direction sensiblement *est-ouest* (1). Au sud, la *Sierra de los Santos* ne limite pas précisément le massif du Guadiato, mais ses hautes montagnes porphyriques, orientées sur la même direction, en forment l'échelon le plus important de ce côté, et, à partir de là, il n'y a plus, pour ainsi dire, qu'à descendre jusqu'au confluent du Guadalquivir et du Guadiato.

Le terrain silurien inférieur occupe la plus large place dans le massif du Guadiato ; suivi par MM. de Verneuil, Collomb et Lorière d'*Almaden* à *Cordoue*, reconnu par

(1) *Itinéraire d'un voyage en Espagne;* par M. Le Play (*Annales des mines*, 1835). — La direction exacte serait E. 12° S. à O. 12° N.

M. le Play, à l'ouest d'*Hinojosa* et de *Fuente-Ovejuna*, à travers toute l'Estramadure, il semble donc, dans toute la région nord de Cordoue, faire la base sur laquelle sont appuyés de rares lambeaux dévoniens et le terrain carbonifère d'Espiel et Belmez. Après les habiles géologues dont je viens de rappeler les noms, je n'ai rien à dire sur la composition et l'allure des terrains silurien et dévonien de cette partie de la Sierra-Morena; mais j'ajouterai quelques mots sur le terrain carbonifère d'Espiel et Belmez.

Le bassin houiller d'Espiel et Belmez est certainement le plus considérable de ceux qu'on a jusqu'ici rencontrés dans le midi de l'Espagne; il ne se distingue pas moins par sa composition des divers lambeaux signalés sur le versant sud de la Sierra-Morena. Avec ses poudingues, psammites et schistes, reposant sur des calcaires carbonifères ou alternant même avec eux (1), ce terrain rappelle les formations houillères marines des *Asturies*, du *nord* de la *France*, de *Saarbrück* et d'*Angleterre*. Au contraire, dans les divers lambeaux épars entre l'Estramadure et Séville, et notamment dans celui de Villanueva-del-Rio, dont il sera plus spécialement question plus bas, la prédominance des poudingues et des grès, l'absence de calcaires, le défaut de netteté et de continuité dans la stratification, sont autant de caractères qui semblent devoir les faire ranger parmi les bassins plus limités, parmi les bassins dits lacustres.

Sans vouloir discuter ici l'avenir du bassin houiller d'Espiel et Belmez, chose presque impossible d'ailleurs, vu l'absence complète de travaux d'exploration

(1) *Coup d'œil sur la constitution géologique de plusieurs provinces de l'Espagne*; par MM. de Verneuil et Collomb (*Bulletin de la société géologique*, t. X, 1853, p. 66).



sur un terrain qui n'a cependant pas moins de 25 à 30 kilomètres de longueur, je ne puis m'empêcher de remarquer que la réputation de richesse qu'on lui a faite est au moins intempestive. On n'a jusqu'ici rencontré que des renflements de houille, très-pure, il est vrai, mais sur d'assez faibles étendues, comme aux mines dites *Terrible* et *Santa-Eliza*. Les exploitations, à peine entamées sur d'autres points, n'ont touché que des épaisseurs beaucoup plus réduites et des qualités souvent très-inférieures. Les indices sont très-nombreux, mais les faits précédents, rapprochés de certains caractères superficiels, doivent plutôt faire craindre une allure par amas ou lentilles plutôt qu'espérer la continuité sur laquelle semblent compter les nombreux compétiteurs aux concessions de ce bassin.

Revenant aux caractères géologiques de cette formation houillère, nous la voyons donc former le terme supérieur des étages paléozoïques du Guadiato ou de la région centrale de la Sierra-Morena. Elle s'étend depuis *Fuente-Ovejuna*, à l'ouest, jusqu'à *Novafria* et *Villaharta*, à l'est.

Les calcaires carbonifères qui forment, entre Espiel et Belmez, plusieurs pics considérables, n'ont été jusqu'ici signalés nulle part en dehors de cette région. M. le Play a, le premier, je crois, indiqué une chaîne calcaire entre Llerena et Guadalcanal (1), à laquelle serait subordonné un petit lambeau houiller, celui d'*Alanis*. Ces calcaires sont, d'après le même auteur, en stratification concordante avec les schistes phyllades du terrain de transition. Ils sont assez souvent parsemés d'amas ou de veines de minerais métalliques.

(1) *Itinéraire d'un voyage en Espagne*; par M. Le Play (*Annales des mines*).

Depuis l'époque où M. Le Play décrivait ces terrains, personne, que je sache, n'a reparlé de ces calcaires. Appartiennent-ils à la période carbonifère comme ceux d'Espiel et Belmez? C'est une question qui offrirait un grand intérêt : en cas d'affirmative, il en résulterait que le dernier terme des étages paléozoïques est beaucoup mieux représenté dans la Sierra-Morena qu'on ne le supposait jusqu'ici. Je n'ai pas vu les calcaires de Llerena et Guadalcanal; mais j'ai observé des calcaires analogues à ceux décrits par M. Le Play, métallifères aussi, entre Cazalla et Cala; j'ai enfin rencontré entre *Cala*, *Aracena* et *Arroyo-Molino*, dans la partie nord de la province de Huelva (voyez la carte de la province de Huelva jointe à ces notes), j'ai, dis-je, rencontré des étendues assez considérables recouvertes d'un calcaire compacte, veinulé de carbonate de chaux cristallin, en couches qui ne m'ont pas toujours paru en stratification parfaitement concordante avec les schistes anciens qu'ils surmontent. Ces calcaires sont aussi fréquemment métallifères : à *Arroyo-Molino*, par exemple, on y voit de nombreux amas ou veinules de cuivres carbonatés ou sulfurés. Le temps m'a manqué pour suivre ces calcaires, soit vers le nord, entre *Cala* et *Llerena*, soit vers le *S.-O.*, en dessous d'Aracena, dans la province de Huelva, où cette bande paraît se continuer encore. J'ai cherché souvent des fossiles sans être assez heureux pour en trouver dans ces assises. Quoi qu'il en soit de la nature et de l'âge de ces calcaires, on peut résumer ainsi qu'il suit la composition géologique du massif central de la Sierra-Morena :

Dans la partie haute, le terrain silurien inférieur y sert de base à quelques lambeaux de terrains dévoniens et carbonifères; il se continue d'ailleurs dans l'*Estramadure*, à l'ouest, et jusqu'à la *Carolina* et *Alcaraz*,

à l'Est. Ces étages paléozoïques ne sont interrompus sur toute cette étendue que par le massif granitique d'*Hinojosa* et par les porphyres de la *Sierra-de-los-Santos*. Des études ultérieures établiront sans doute quelque relation entre ces porphyres quartzifères et les dislocations des terrains anciens, notamment de la formation carbonifère.

Les terrains tertiaires ou secondaires n'apparaissent qu'au pied du massif du Guadiato, le long d'une ligne qui passerait un peu au nord de Posadas et de Cordoue. Les premiers ont la même composition et la même allure que ceux qui seront décrits plus bas et en détail; quant aux seconds, leur existence est encore assez problématique. On trouve à la sortie de Cordoue, en gravissant les premières pentes de la Sierra, immédiatement sous les alluvions tertiaires, des schistes et psammites amarantes ou nuancés de diverses couleurs. M. Le Play, en les indiquant, les comparait aux roches des grès bigarrés de l'est de la France. Depuis, MM. *F. de Lujan* et *Esquerra del Bayo* (1) ont adopté le même classement, mais sans preuves déterminantes. Il est permis de douter encore de l'âge véritable de ces terrains; peut-être sont-ils plus anciens qu'on ne l'a supposé jusqu'aujourd'hui.

Massif du Biar et du Guezna.

Le massif du *Biar* et du *Guezna*, qui forme la partie haute de la province de Séville, se distingue tout d'abord par la fréquence des affleurements granitiques: ainsi, on rencontre cette roche primitive à un ou deux kilomètres au nord de *Lora-del-Rio*, aux environs du *Pedroso* et de la *Venta-Mulba*, dans toute la chaîne qui s'étend de *Cantillana* à *Castilblanco* et à *Almaden-de-*

(1) M. de Lujan hésite entre le nouveau grès rouge et le zechstein; M. Esquerra del Bayo penche pour ce dernier étage.

la-Plata; enfin entre le *Ronquillo* et *Santa-Olaya.* Ces divers affleurements paraissent former les axes des chaînes secondaires qui séparent les affluents du Guadalquivir dans cette région. L'affleurement de *Santa-Olaya* au *Ronquillo* sépare les rivières de *Cala* et de *Huelva;* celui d'*Almaden-de-la-Plata* à *Castilblanco* forme la chaîne à droite et à gauche de laquelle coulent les *rios Cala* et *Biar;* l'îlot du *Pedroso* est intercalé entre les vallées du *Biar* et du *Guezna;* enfin, le granite de *Lora-del-Rio* forme des montagnes assez élevées entre les *rios Guezna* et *Rembezar.* Tous ces îlots ou chaînons granitiques sont orientés, comme les cours d'eau qu'ils encaissent, sur N. 25° à 35° O.

Une autre différence entre le massif du Biar et du Guezna, et ceux dont il a été question précédemment, résulte de la nature des terrains qui entourent les chaînes granitiques. Immédiatement contre la roche primitive, on trouve tantôt des gneiss, tantôt des micaschistes; puis viennent des schistes talqueux ou argileux, mais on ne rencontre pas ces grauwackes et quartzites si fréquents en Estramadure et dans la haute Sierra-Morena. Les schistes argileux qui semblent les plus abondants sont tantôt d'un gris bleuâtre, tantôt d'un jaune rougeâtre. Quelquefois ils sont durcis, silicifiés, et renferment des veinules ou petits filons de quartz blanc. L'orientation de ces schistes oscille entre le *nord-sud* et le *nord-ouest-sud-est;* la plongée, toujours très-forte (presque droite), paraît être le plus souvent à l'est ou au nord-est. C'est dans ces schistes, et non loin des massifs granitiques, que s'exploitent les minerais de fer qui alimentent les usines, fonderies et forges du Pedroso : ces gisements consistent en portions de couches argilo-talqueuses imprégnées d'héma-

tite rouge et quelquefois de fer oligiste sur des épaisseurs considérables.

J'ai encore observé dans ces schistes des bancs souvent fort épais de calcaire marbré, cristallin ou saccharoïde; ils ne sont pas continus et semblent former de vastes amandes intercalées entre les lits schisteux. Comme exemples de ces gisements calcaires, je citerai la *Sierra-Atraviesa*, sur la rive gauche du Biar. On exploite là des marbres communs qui sont expédiés à Séville : l'une des principales exploitations, lors de mes courses dans cette région, était située un peu à l'Est de *Fuente-Luengua* (voyez la petite carte du bassin du Biar, *fig.* 1, Pl. VII).

L'ensemble des caractères que je viens d'esquisser me semble établir une assez grande différence entre les terrains anciens qui enveloppent les îlots granitiques du massif du Biar et le terrain silurien qui se développe dans la *Haute-Sierra*, au *nord*, à l'*est* et à l'*ouest* de cette région. Autant que j'en puisse juger par les courses rapides que j'ai faites, ce terrain argilo-talqueux serait inférieur au terrain silurien de Cordoue, Almaden et de l'Estramadure. Celui-ci, qui reparaît dans la province de Huelva, tournerait donc autour et au nord des terrains granitiques et argilo-talqueux du massif du *Biar* et du *Guesna*, pour se continuer sans interruption depuis la province de Huelva jusqu'au delà de la Carolina.

Sur les terrains granitiques et argilo-talqueux dont je viens de parler, on voit reposer, à stratification nettement discordante, le terrain houiller de *Villanueva-del-Rio* et un terrain de grès rouge assez étendu; enfin, ces deux dernières formations sont, en se rapprochant du Guadalquivir, recouvertes à leur tour par les terrains tertiaires miocènes. J'ai été appelé à étudier,

dernier ensemble d'une manière détaillée; aussi en ferai-je l'objet d'un paragraphe spécial, sans y insister davantage pour le moment.

Je terminerai ces généralités sur le massif du Biar et du Guesna, en signalant comme un dernier caractère l'abondance des roches éruptives appartenant à la classe des amphibolites et peut-être aussi des mélaphyres; je reviendrai sur leurs caractères un peu plus loin.

Massif de la province de Hulva.

Le *massif de la province de Huelva* présente une assez grande uniformité de composition : les schistes argileux, les grauwackes et quartzites recouvrent à peu près toute son étendue; sur le littoral seulement apparaissent les terrains tertiaires; enfin, dans le nord et le nord-ouest de la province, se montrent les lambeaux de cette formation calcaire ancienne, que j'assimilais plus haut au calcaire de *Llerena*.

Ce qui caractérise ce massif, c'est l'abondance des porphyres amphiboliques ou des roches porphyriques et la puissante formation pyrito-cuivreuse qui semble être l'accompagnement de ces roches éruptives. Je n'insiste pas davantage ici sur cet ensemble si intéressant, mes notes me permettant d'en faire une description assez détaillée, dans un chapitre spécial.

II. ENSEMBLE DES FORMATIONS QU'ON RENCONTRE ENTRE SÉVILLE, CANTILLANA, VILLANUEVA DEL RIO, LORA DEL RIO ET CARMONA.

Les terrains qui couvrent cette étendue ont été représentés sur la carte (*fig.* 1, Pl. VII). Par la nature même des recherches dont j'étais chargé, j'ai dû suivre, pour ainsi dire pas à pas, la plus grande partie des limites de ces diverses formations : à ce point de vue, j'ose espérer que le tracé que j'ai fait n'offrira pas d'autres erreurs

que celles qui peuvent résulter du peu d'exactitude des cartes dont on dispose en Espagne et de l'absence malheureusement trop fréquente de lieux habités pouvant servir de points de repère.

Je suivrai, dans la description de ces terrains, l'ordre descendant des âges.

Terrains tertiaires. Composition générale.

Les terrains tertiaires de cette partie de l'Andalousie paraissent renfermer deux et peut-être même trois séries d'assises assez distinctes qu'on peut caractériser, au moins sommairement, ainsi qu'il suit :

1° A la base, des *calcaires*, *mollasses* et *sables* avec *grandes huîtres*, *peignes* et *clypeasters;*

2° Au milieu, des *argiles* et *marnes;*

3° A la partie supérieure, des *calcaires coquilliers* (*calcaire de Carmona*).

Par-dessus ces diverses assises se voient enfin des alluvions anciennes et des alluvions modernes ou contemporaines.

La coupe (*fig.* 2) faite de *Villanueva del Rio* à *Carmona*, résume cette superposition d'assises.

Caractères lithologiques.

Les couches qui me semblent les plus inférieures sont celles qui recouvrent immédiatement le terrain houiller de *Villanueva del Rio.* Sur les derniers grès et poudingues de celui-ci reposent des calcaires grossiers, sableux, tout pétris de fragments de coquilles ; des petits lits d'argiles grises ou noires séparent deux ou trois bancs de très-grandes huîtres (*ostrea crassissima* ou *longirostris*). Sur l'escarpement de 30 à 40 mètres de hauteur, qui domine le coude du Guezna au sud, on voit une série de vingt ou vingt-cinq couches alternativement composées de grès ou poudingues calcaires et de sables coquilliers.

Les grès ou poudingues sont invariablement composés d'une pâte calcaire, dans laquelle sont implantés

des fragments de schistes anciens ou de quartz, mais beaucoup plus fréquemment des noyaux arrondis, roulés, de quartz blanc ou un peu ferrugineux. Cette roche passe souvent à une véritable mollasse. Elle est généralement solide quand elle est à grains fins; au contraire, avec un grain plus grossier, elle passe, dans la partie haute surtout, à un véritable poudingue ou conglomérat, sans grande consistance.

Les sables, plus ou moins argileux ou calcaires, se creusent peu à peu et, de loin, dans les coupes naturelles du terrain, on les reconnaît aisément aux vides qu'ils laissent entre les couches plus solides des calcaires, grès et mollasses.

Sur le même horizon que les couches précédentes, ou immédiatement au-dessus, viennent des bancs calcaires légèrement siliceux, d'un blanc jaunâtre, avec *pecten*, *ostrea*, *clypeaster* et nombreux restes de zoophytes.

Les argiles et marnes de la partie moyenne des terrains tertiaires se rencontrent tantôt directement au-dessus des grès, mollasses et poudingues, comme aux environs de *Villanueva*, tantôt au-dessus des calcaires à *huîtres*, *pecten* et *clypeaster*, comme aux environs de *Lora del Rio*, au *nord* et au *nord-ouest* de Séville. La roche la plus abondante est une argile d'un gris bleuâtre, présentant rarement une apparence de stratification. Elle est d'une très-grande plasticité : à la moindre pluie, les chemins qui la traversent deviennent impraticables par suite de la boue très-grasse qui s'y forme.

Les marnes n'apparaissent que dans la partie supérieure de cette argile : encore sont-elles très-fortement argileuses; blanches, grises ou bleuâtres, elles accusent une stratification qui me paraît les distinguer assez bien

des argiles. A cette hauteur se rencontrent aussi de vrais calcaires marneux.

Les calcaires de Carmona reposent sur les argiles et marnes précédentes; le plateau sur lequel est assise cette jolie petite ville en est exclusivement composé. Ces calcaires sont jaunâtres ou blanchâtres, parsemés souvent d'une multitude de grains de quartz et renfermant beaucoup de débris de coquilles indiscernables. Sur certains points, la pâte calcaire paraît dominer presque exclusivement; la roche est alors un peu plus solide; sur d'autres, ces calcaires sont sableux et micacés : ils se réduisent alors très-aisément en poussière.

Les alluvions anciennes ou terrains de transport, qui occupent une grande étendue de la plaine même du Guadalquivir, sont composées de blocs énormes de quartz; j'en ai vu de plus d'un pied de diamètre. Ces blocs sont toujours arrondis; le quartz est tantôt gris, tantôt rougeâtre, au moins à la surface. Ils sont cimentés par un sable argileux généralement rouge ou ferrugineux.

Enfin, sur bon nombre de points, au-dessus des diverses formations de la région dont je m'occupe, et plus particulièrement dans le voisinage des derniers chaînons de la Sierra-Morena, on voit des alluvions évidemment plus modernes, composées de sables ou de poussière fragmentaire, qui ne sont que les débris des roches les plus voisines. Les amas qui se sont ainsi formés se continuent encore aujourd'hui dans les parties basses des plateaux ou sur les flancs des principales vallées.

Caractères paléontologiques.

Les fossiles de ces terrains tertiaires sont fort nombreux, mais malheureusement la plupart sont assez mal conservés, souvent à l'état de moules seulement ou en amas de débris méconnaissables.

Les fossiles marins apparaissent à peu près exclusivement dans les calcaires, grès, sables ou mollasses de la partie inférieure. Ainsi, on y rencontre plusieurs variétés d'huîtres très-grandes, notamment celle dite *ostrea crassissima;* les calcaires à fragments ou restes de zoophytes renferment de très-beaux exemplaires de *clypeaster altus* et de *pecten latissimus.* On voit en outre, dans les grès et poudingues calcaires, comme dans les sables, beaucoup de moules de *Venus* et des débris de *cerithium* et autres coquilles spirées. Enfin, dans quelques-unes des couches du coude de Guezna, j'ai observé une grande abondance d'*orbitolites.*

Dans les argiles, je n'ai point observé de fossiles; dans les calcaires sableux de Carmona, il y a beaucoup de débris, mais méconnaissables. J'ajouterai seulement que dans des couches argileuses, marneuses et calcaires, qui à l'*ouest* et au *nord-ouest* de *Séville*, me semblent représenter le même horizon que les argiles, marnes et calcaires de *Carmona*, j'ai trouvé des helix, des *paludines* et des fragments de coquilles qui rappellent les *cyclades* (?).

M. F. de Lujan rapporte qu'on a rencontré des dents de *squalus carcarias*, à l'*Arahal*, au milieu d'argiles qui continueraient celles dont j'ai parlé, vers le sud de *Carmona* et de *Séville* (1).

Je n'ai point observé et je ne sache pas qu'on ait rencontré de restes fossiles dans les terrains de transport ou alluvions anciennes.

Les couches inférieures (c'est-à-dire les calcaires, grès, sables, poudingues et mollasses) sont presque

Caractères stratigraphiques. Allure des couches.

---

(1) *Estudios y observaciones geológicas relativos á terrenos que comprenden parte de la provincia de Badajoz, y de las de Toledo y Ciudad-Real;* por Don F. de Lujan, p. 44.

Etendues occupées par les divers étages. Leur puissance.

horizontales, ou bien elles inclinent au *sud-sud-ouest*, faisant avec l'horizon des angles de 3, 4 ou 5 degrés. Les argiles, je l'ai dit, ne semblent pas avoir de stratification nette. Les calcaires sableux et coquilliers de *Carmona* sont à peu près horizontaux, ou s'ils ont une inclinaison, elle serait de quelques degrés du sud au nord (?), inverse par conséquent de celle des couches précédentes inférieures.

L'allure de toutes ces assises est d'ailleurs fort régulière et rien, dans les localités où je les ai suivies, ne semble témoigner de l'influence immédiate de bouleversements postérieurs à leur dépôt. On voit les assises les plus basses s'élever, sur les contre-forts sud de la *Sierra Morena*, à des hauteurs de 80 à 100 mètres au-dessus de la vallée du Guadalquivir, mais c'est sans discontinuité apparente et par le seul effet de l'inclinaison des bancs.

Dans la vallée du Guezna, la puissance de l'étage inférieur, calcaires, grès et poudingues, ne paraît pas dépasser, en moyenne, 30 à 40 mètres. Les calcaires à *pecten* et *clypeaster* se voient souvent en contact immédiat avec les schistes anciens : dans ce cas, je n'ai le plus ordinairement constaté que deux ou trois couches dont la puissance totale atteindrait, au maximum, 8 ou 10 mètres. Les argiles et marnes occupent une épaisseur plus considérable; je l'estimerais volontiers à 60 ou 70 mètres entre *Villanueva* et *Carmona*. Enfin, les calcaires sableux et coquilliers de *Carmona* à *Mairena* auraient une puissance de 10 à 12 mètres répartie entre deux ou trois bancs. En somme, la puissance des terrains tertiaires dans cette partie de la vallée du Guadalquivir paraît osciller autour de 100 mètres.

Je n'y comprends pas la puissance des alluvions

anciennes ou modernes, car elle m'a paru assez variable.

Les terrains qui viennent d'être décrits ne s'étendent pas seulement sur l'espace représenté par la *fig.* 1, Pl. IV; mais on les retrouve sur tout le parcours du Guadalquivir, au pied de la *Sierra Morena.* Ainsi, les couches coquillières, signalées par divers géologues au nord de *Cordoue*, comme les couches à grandes huîtres qu'on voit sur les schistes de transition au nord de *Posadas*, d'*Almodovar del Rio*, m'ont paru absolument identiques avec celles des environs de *Lora* et de *Villanueva.* On retrouve aux environs de *Guillena*, au nord de *Séville*, plusieurs bancs de grandes huîtres appuyées sur les schistes anciens; c'est la même chose dans la partie sud de la province de Huelva, et dans ces dernières couches j'ai trouvé, à la fois, des *huîtres*, des *pecten* et des fragments d'*oursins.*

Sur la plupart de ces points aussi, j'ai trouvé au-dessus de ces assises avec fossiles marines, la formation argileuse de la plaine de Séville. Enfin, au-dessus de celle-ci, des marnes, des calcaires blanchâtres, comme à *San Lucar la Major*, à l'ouest de Séville.

Les alluvions anciennes s'étendent généralement en nappes souvent considérables dans les parties basses de la vallée du Guadalquivir; mais elles occupent aussi des plateaux sensiblement plus élevés, comme ceux compris entre les rios *Guadajoz* et *Genil* d'une part, et les rios *Genil* et *Corbones* de l'autre. C'est généralement sur la formation argilo-marneuse que ce transport ancien s'appuie.

Age de ces terrains.

Si l'on résume les divers caractères de ces étages tertiaires, si d'ailleurs on les compare à ceux de couches analogues observées, d'une part, par MM. de Verneuil et Colomb, sur le versant *nord-ouest* de la *Sierra-Se-*

gura, aux sources du Guadalquivir (1); d'autre part, par différents géologues espagnols ou étrangers sur le littoral méditerranéen, couches considérées comme miocènes marines, on concluera que cet étage tertiaire s'étend sur toute la longueur du *Guadalquivir*, au pied de la *Sierra-Morena*, et qu'il est particulièrement développé aux environs de *Villanueva del Rio*.

Maintenant les argiles, marnes, calcaires blanchâtres, sableux ou coquilliers, supérieurs aux calcaires, grès, poudingues et mollasses, tout en appartenant sans doute à la même période tertiaire, sont-ils aussi marins ou bien d'eau douce; doivent-ils être réunis aux assises inférieures ou en être détachés pour faire un sous-étage différent? C'est ce que des excursions plus étendues que celles que j'ai faites peuvent seules apprendre.

Terrain de grès rouge de la vallée de Biar.

La vallée du Biar, en sortant des derniers chaînons *est-ouest* qui composent la Sierra-Morena, sous le parallèle de *Cazalla*, s'avance ensuite du *nord-nord-ouest* au *sud-sud-est*, entre deux montagnes anciennes, dont les crêtes accusent nettement la même direction. L'une de ces montagnes, à l'ouest, est la Sierra granitique de *Castilblanco;* l'autre, à l'*est*, comprend les cerros de *La Encarnacion* et de *Los Alacranes* au *sud-est*, et la *Sierra-Atraviesa* au *nord-ouest*.

Cette vallée, la plus large de toutes celles qui flanquent le Guadalquivir au nord, est occupée par un terrain rouge assez puissant, que la présence de quelques petits bancs de charbon dans les parties inférieures a fait prendre pour du terrain houiller. Le seul auteur qui ait parlé de ce terrain, au moins à ma connaissance, est M. F. de Lujan. Dans le mémoire

(1) *Géologie du sud-est de l'Espagne*; par
et Collomb (*Bulletin de la société géologiq*
p. 674).

j'ai déjà cité, ce géologue, en décrivant certaines roches de ce terrain, très-succinctement d'ailleurs, y admet à la fois l'existence de la formation houillère et du zechstein. L'étude toute spéciale que j'ai dû faire là et sur le bassin houiller de Villanueva, au point de vue industriel, m'a permis de rassembler des faits assez nombreux qui permettront peut-être un classement plus précis de cette formation : je la désignerai provisoirement sous le nom de *grès rouge*.

Terrains encaissants du grès rouge.

Appuyé au nord, à l'est et à l'ouest sur les schistes anciens ou sur le granite, le terrain rouge disparaît au sud sous les étages tertiaires décrits précédemment. Je dirai tout de suite, pour n'y plus revenir, quelques particularités des terrains anciens inférieurs à l'étage rouge. Le granite paraît assez souvent syénitique ; mais peut-être est-ce l'effet des nombreuses éruptions dioritiques qui le traversent le long de la rive droite du Biar.

J'ai déjà indiqué précédemment les calcaires marbrés de la *Sierra-Atraviesa*; j'ai dit qu'ils paraissent intercalés entre les schistes argileux ou talcqueux et appartenir par conséquent au même terrain ancien, y formant des masses lenticulaires plus ou moins considérables. J'ajouterai que ces masses semblent alignées le long d'une grande faille N. 30° à 35° O., qui serait postérieure au terrain rouge et peut être en relation avec l'apparition de certaines roches trappéennes qu'on voit affleurer dans les schistes et dans le terrain rouge, sur la même direction.

Composition générale du terrain rouge dans la partie inférieure du cours du Biar. Caractères lithologiques.

Cette formation se divise naturellement en deux étages : *l'un*, inférieur, est composé de sept ou huit assises de [illegible] ou conglomérats, séparées entre elles par des [illegible] de diverses couleurs ou [illegible] ; *l'autre* est posé

sur le premier à stratification parfaitement concordante; mais les couches de psamnites, argiles et calcaires qu'il comprend, ne recouvrent les poudingues que vers le centre et le sud de la formation. Le second étage est ainsi en retrait sur le premier et débordé par lui au nord, à l'ouest et à l'est.

Les poudingues se suivent presque sans interruption depuis la Encarnacion jusqu'à la rencontre du Biar par la Sierra-Atraviesa d'un côté, et de l'autre, le long du flanc oriental de la Sierra de Castilblanco. Les psammites et calcaires supérieurs ne se montrent qu'aux environs de *Montegil* et de *Dominguito*.

Caractères lithologiques.

Ce terrain est fréquemment altéré, notamment dans sa partie nord, par des roches éruptives qui tantôt le traversent, tantôt affleurent au milieu des terrains anciens, le long de ses limites. Je l'étudierai d'abord dans la région sud où ces altérations se montrent beaucoup moins.

Les poudingues ou conglomérats de l'étage inférieur sont à peu près exclusivement quartzeux : c'est ordinairement un assemblage de galets roulés d'un rouge de sanguine, cimentés par une argile extraordinairement chargée d'oxyde de fer rouge. Les galets atteignent souvent la grosseur de la tête. On voit aussi dans ces conglomérats des petites plaquettes de psammite rouge micacé. Sans aucune solidité, ces poudingues se détruisent aisément et comblent toutes les dépressions du sol de leurs cailloux amoncelés.

Les grès ou psammites qui alternent avec des argiles entre les poudingues sont très-fissiles et assez peu solides : ils se composent de grains de quartz rouges et verts, de quelques fragments schisteux anciens, l[illegible] dans une pâte argilo-micacée rouge. Ces gr[illegible] souvent aux poudingues par le mélan[illegible]

gros de quartz, quelquefois blancs, mais plus souvent rouges. Les psammites font quelquefois effervescence aux acides.

Enfin, les argiles sont micacées et passent quelquefois aux grès plateux sanguins : elles sont tantôt *blanches*. *verdâtres*, *brunes* ou *noires;* tantôt, mais plus généralement, rouges et très-chargées d'oxyde rouge de fer. Comme les psammites, certaines de ces argiles font effervescence.

Outre l'oxyde de fer, minéral qui fait partie intégrante du terrain, on trouve dans ces roches et notamment dans les poudingues tout à fait inférieurs qui recouvrent les schistes du cerro *Encarnacion*, on trouve, dis-je, des petits nids ou veines de cuivre carbonaté vert avec fahlerz.

Dans l'étage supérieur, les psammites et argiles ressemblent à ceux déjà décrits; ces dernières m'y ont paru toutefois plus régulièrement bariolées de diverses couleurs. Les calcaires y sont d'un gris cendré, fréquemment veinulé de rouge, avec nombreuses fissures de chaux carbonatée cristalline. J'ai analysé plusieurs échantillons de ces calcaires et j'ai reconnu qu'ils renferment presque tous 25 à 30 p. 100 d'argile ferrugineuse et 6, 7 ou 8 p. 100 de carbonate de magnésie. Ils deviennent parfois schisteux, s'exfoliant alors très-aisément. C'est dans des couches de cette dernière sorte que j'ai rencontré, au sud de Dominguito, des nids et veinules de fahlerz et de carbonates de cuivre.

Coupe transversale du bassin de grès rouge, dans la région sud de la vallée du Biar.

Si l'on jette les yeux sur la coupe (*fig.* 3), on jugera mieux de l'ordre de superposition des diverses assises dont je viens d'esquisser les caractères lithologiques. Cette coupe montre en même temps que, dans la région sud de la vallée du Biar, le terrain rouge est

nettement encaissé par les roches anciennes, sans interposition, au moins apparente, d'aucune autre formation intermédiaire. Il y a discordance complète de stratification entre lui et les schistes anciens.

En ne tenant pas compte pour le moment des failles qui accidentent l'allure des couches, on voit qu'elles sont relevées à la fois vers l'*ouest-sud-ouest* et vers l'*est-nord-est*; mais, tandis que le relèvement est très-brusque le long des cerros qui composent la partie basse de la *Sierra-Atraviesa*, il est beaucoup moins prononcé le long du Biar entre les ravins de la *Malmerienda* et de *Sevilla la Vieja*. Les couches, disloquées par une ou deux grandes failles entre Dominguito et la *Sierra-Atraviesa*, présentent, surtout vers la base, des inclinaisons de 30 à 70° sur l'horizon, comme dans le quartier de *las Infantas* et du *Parroso*. Au contraire, vers le centre, c'est-à-dire aux environs de Dominguito, on voit successivement les couches de psammites et argiles bariolées, alternant avec des calcaires, se superposer aux assises de poudingues, en se rapprochant de plus en plus de l'horizontale.

A Dominguito même, les bancs n'ont plus qu'une légère inclinaison au sud-sud-est, au moment où ils vont disparaître sous les terrains tertiaires. De *Dominguito* à la *Malmerienda*, on repasse de l'étage calcaire aux poudingues, en observant encore l'accroissement progressif du pendage au fur et à mesure qu'on s'avance vers la sierra granitique de *Castilblanco*. On peut, en parcourant le chemin que je viens d'indiquer, compter sous l'étage calcaire le même nombre d'assises de poudingues à l'est et à l'ouest : rien de plus constant que cet ensemble dans la puissance et la succession de ses diverses assises, comme aussi dans ses caractères lithologiques.

Les coupes (*fig.* 4 et 5) donnent le détail de la composition de la première assise de poudingues, de celle qui fait la base du terrain, sur le *Biar* d'un côté, et sur le *Parroso* de l'autre. La puissance sur les deux points serait environ de 25 mètres. En comptant sept assises pareilles, l'épaisseur totale de l'étage inférieur serait donc de 175 mètres; pourtant je la crois inférieure à ce chiffre, et en tenant compte de l'inclinaison des couches qui trompe souvent, je la fixerais plutôt entre 100 et 150 mètres (1).

Puissance de chaux des deux étages.

L'étage supérieur, formé d'assises généralement plus minces, comme l'indique la coupe (*fig.* 3), a une épaisseur plus réduite ; aux environs de Dominguito, elle ne paraît pas dépasser 50 mètres. Sur cette puissance, les argiles bigarrées et les psammites rouges occupent la plus large place, les calcaires ne se montrant qu'en couches de 0^m,30 à 0^m,60 ou 0^m,80 presque toujours encaissées par les argiles bariolées.

Caractères paléontologiques. Fossiles végétaux. Bancs de houille.

Dans l'étage inférieur, les restes fossiles sont fort peu abondants : on n'y trouve guère que des empreintes de plantes, feuilles ou tiges végétales, au milieu des argiles schisteuses qui séparent les poudingues. Je les ai surtout rencontrées dans l'assise la plus basse, au *Parroso* et sur le *Biar*. Ces argiles se détruisant très-facilement en une poussière fragmentaire assez fine, il est difficile d'en retirer des échantillons fossiles bien conservés; mais j'ai pu au moins reconnaître les genres : les *calamites* et les *pecopteris* sont les plus ordinaires. J'ai vu aussi une feuille ou fleur composée de cinq pétales partant d'un bouton central, comme dans les *astérophyllites*. Enfin, dans le même étage inférieur,

(1) Voyez plus bas les coupes des sondages faits à travers ce terrain, aux environs de *Cantillana* et à *la Huerta Vicente*.

on voit souvent des fragments de troncs d'arbres silicifiés.

Dans l'étage supérieur, les argiles bigarrées offrent encore des empreintes analogues à celles déjà indiquées; mais ce me paraît être surtout dans les couches calcaires de cet étage qu'on rencontrera les vrais caractères paléontologiques de la formation, particulièrement sur un ou deux points, aux environs *sud* de *Dominguito* et au *nord-nord-est* de *Montegil*. Ces couches renferment plusieurs espèces de fossiles; les fragments que j'ai pu recueillir sont tous fort mal conservés : sur les lieux, j'avais été frappé de la constance avec laquelle se montraient dans ces calcaires des parties de chaux carbonatée cristalline rappelant assez bien, par leurs contours, les formes des *avicules;* je voyais là une altération des coquilles dans ces calcaires métamorphisés, analogue à celle des gryphées dans certains marbres des terrains jurassiques. J'avais même cru reconnaître certains fragments d'*ammonites* dans des échantillons rapportés des environs de Montegil. Mais lorsque je comparai ces restes fossiles à ceux de nos collections de muschelkalk, je reconnus l'impossibilité d'asseoir une opinion certaine sur la nature de ces débris et surtout d'en conclure l'âge du terrain dans lequel je les avais trouvés. Le temps m'a manqué pour chercher de meilleurs exemplaires.

Dans les deux étages, mais surtout dans l'étage inférieur et particulièrement encore dans les argiles qui viennent immédiatement au-dessus de la première assise de poudingues, un ou deux bancs de houille ont été fouillés par différents explorateurs. Ces bancs qu'on retrouve aussi bien sur le *Biar* que sur le *Parroso* et toujours sur le même horizon, ont une puissance variable de 10 à 20 ou 25 centimètres. Souvent aussi leur

place au milieu d'argiles blanches, verdâtres, rouges ou brunes, est marquée seulement par un lit d'argile bitumineuse noire, chargée des empreintes déjà nommées. Les quelques travaux entrepris sur ces petites couches de charbon n'ont pas constaté d'accroissement de puissance en profondeur. Ils ont été généralement abandonnés.

Roches éruptives qui traversent le terrain rouge. Modifications qu'elles font subir aux couches de cette formation.

Jusqu'ici j'ai considéré le terrain rouge dans la région où il n'est que peu ou point altéré par les roches éruptives; si nous nous transportons au nord, nous allons constater de grands changements dans ses caractères lithologiques. Et d'abord quelques mots des roches éruptives elles-mêmes.

Une première classe de roches éruptives comprend les diorites ou ophites qui affleurent en un grand nombre de points de la Sierra de Castilblanco, sous forme de filons plus ou moins puissants, à travers le granite. Au milieu d'une pâte d'un vert plus ou moins foncé, on distingue des petits cristaux de feldspath et des noyaux ou des aiguilles d'amphybole verte ou noire ; ce sont là les caractères les plus ordinaires des diorites des environs de San Benito. D'autres fois et notamment dans la *Sierra-Atraviesa*, la masse de la roche paraît plus homogène ; elle est toujours verte, mais on n'y distingue pas de cristaux, ni de feldspath. ni d'amphibole. Cette variété se divise facilement en boules.

Je n'ai vu nulle part les filons de diorites traverser les couches du terrain rouge. Je les ai suivis plus d'une fois à travers les schistes ou le granite jusque sous les poudingues inférieurs sans jamais pouvoir constater leurs prolongements à travers ceux-ci.

Une seconde classe comprend des roches qui me paraissent fort difficiles à dénommer. Elles sont généralement composées d'une pâte d'un brun noirâtre avec des

nuances lilas ou violet ; dans cette pâte sont disséminés des grains vitreux d'un vert clair, qu'on prendrait aisément pour du péridot, mais qui me paraît être du pyroxène. On y remarque aussi de petites masses lamelleuses dont les faces striées ont des reflets bronzés, bleus ou verts, sans doute du labrador. Souvent la roche passe à l'amygdaloïde ; les noyaux sont noirs et très-durs ; ils ont quelquefois disparu à la surface des masses, qui prennent alors une apparence scoriacée, bulleuse : dans ce cas, la roche avec ses grains verts vitreux ressemble tout à fait à certaines variétés de basalte chargé de grains de péridot. Ces roches, comme les premières, font souvent une vive effervescence.

Ces roches éruptives ne sont pas moins curieuses sous le rapport de leur gisement que sous celui de leur composition.

Elles affleurent presque exclusivement au milieu des couches de l'étage rouge inférieur ; elles n'y forment pas de filons, mais des buttes ordinairement arrondies ou légèrement coniques.

Dans plusieurs de ces masses et en particulier dans les ravins de *los Jaronales* et *del Posito*, en face de *San Benito*, la roche amygdaloïde semble stratifiée, comme les grès et poudingues au milieu desquels elle affleure.

Enfin, j'ai observé aussi, surtout à la base du terrain rouge, des épanchements de ces mêmes roches amygdaloïdes entre les bancs de grès et poudingues, qui sont, dans ce cas, considérablement durcis et métamorphisés. Il semble y avoir là passage de la roche éruptive aux grès et poudingues. Quelquefois aussi, dans ces circonstances, la séparation est faite par une sorte de tuf participant à la fois des roches éruptives et stratifiées.

En résumant ce qui vient d'être dit sur cette seconde classe de roches, je les rangerais volontiers parmi les *mélaphyres*. Quant aux circonstances de leur apparition, il me paraît probable, d'après les faits rapportés, qu'elles se sont fait jour au fond de la mer même où se déposaient les grès et poudingues inférieurs du terrain rouge. Il y a enfin une grande ressemblance entre ces roches et celles qui traversent les terrains de grès bigarrés du département du Var (1) (spilites).

Les roches de la seconde classe affleurent surtout en très-grande abondance sur la rive droite du Biar, aux environs de *San Benito*. C'est dans cette région nord qu'on peut le mieux observer les effets de métamorphisme qu'elles ont produits sur les couches inférieures du terrain rouge. Un premier point où ces effets sont bien accusés est celui marqué A sur la carte (*fig.* 1, Pl. IV). La coupe, faite là perpendiculairement à la limite des schistes anciens et du terrain rouge et rapportée (Pl. IV, *fig.* 6), montre qu'au contact des amygdaloïdes les grès, poudingues et argiles de la base du terrain rouge sont singulièrement blanchis, durcis, silicifiés : il ne peut d'ailleurs y avoir ici le moindre doute sur l'identité d'âge de ces couches avec celles qui les recouvrent immédiatement, à stratification parfaitement concordante et qui conservent tous les caractères ordinaires du terrain rouge.

Lorsque du Castillo de Montegil on descend vers le Biar et qu'on passe cette rivière en face de San Benito, on coupe successivement les cinq ou six premières as-

(1) Les roches qu'on trouve dans les bassins de Brassac et Commentry ressemblent aussi beaucoup aux mélaphyres du Biar.

sises de poudingues rouges. Or, tandis qu'elles se prolongent toutes jusque sur la rive gauche de la rivière, où elles forment des escarpements très-rapides, on n'en retrouve plus que quelques lambeaux sur la rive droite. Ces lambeaux sont superposés à un terrain de couleur grisâtre dont les couches s'étendent sur les flancs des montagnes du *Carpio*, de *Garganta fria*, etc. (*fig.* 7).

Ce terrain gris se compose uniformément, de bas en haut, de poudingues passant à l'amygdaloïde, de grès souvent transformés en arkoses, de schistes noirs, rouges ou blancs; enfin, à la partie supérieure, une ou deux couches de grès grisâtres, avec plans de schistosité généralement parallèles à ceux de la stratification, couronnent cet étage, et résistant mieux que les couches inférieures à la désagrégation, elles forment une corniche naturelle au-dessus de laquelle on est presque toujours sûr de retrouver des lambeaux rouges. L'aspect des poudingues et des grès de ce terrain prouve déjà que ces couches ont été certainement métamorphisées, durcies, blanchies, feldspathisées, sans doute sous l'influence des nombreux affleurements ou des épanchements de mélaphyres qu'on y observe; mais ce qui établit plus nettement encore ce métamorphisme, ce sont les caractères des schistes argileux intercalés dans la région moyenne de cet étage. On y voit plusieurs bancs minces d'argiles blanches durcies se cassant en prismes aplatis à section rectangulaire ou parallélogrammique; entre ces bancs ou entre eux et d'autres schistes d'un rouge sale ou d'un vert clair, sont intercalés des lits de silex noirs (pedernales); enfin, c'est sur le même horizon qu'on trouve encore des schistes noirs, bitumineux, se cassant avec difficulté et donnant alors des fragments

qu'on prendrait pour de l'anthracite. Dans cette région moyenne, on rencontre enfin, au milieu des mêmes schistes, une ou deux petites couches de charbon qui rappellent beaucoup celles que j'ai signalées précédemment dans les assises inférieures du terrain rouge. Dans leur voisinage les schistes conservent les mêmes caractères que ceux qui encaissent la houille du *Parroso* ou de la *Malmerienda;* on y retrouve les mêmes empreintes de *calamites* et de *pecopteris*.

Les fouilles diverses faites et même assez profondément sous le jour, notamment dans le ravin *del Pozito*, au sud-est de *San Benito*, ont quelquefois, dit-on, rencontré des épaisseurs de un, deux ou trois pieds de houille, mais tout à fait accidentellement. En général, partout où j'ai vu affleurer ces bancs de houille, ils sont minces, au nombre de deux ou trois, séparés par des intervalles schisteux de 25 à 35 centimètres.

La coupe (*fig.* 7) faite à peu près de l'est à l'ouest, suivant le ravin du Carpio, résume la composition du terrain gris. Elle montre aussi que ses couches sont recouvertes à stratification absolument concordante par les prolongements des poudingues rouges ordinaires, sur la rive droite du Biar. Enfin, on voit encore sur cette coupe que cet étage gris n'a qu'une épaisseur totale de 25 à 30 mètres, et qu'il repose directement sur les granites et diorites de la sierra de *Castilblanco*, tout comme l'assise inférieure du terrain rouge, à l'*ouest* de *Montegil* et dans les ravins de *Sevilla la Vieja* ou de la *Malmerienda*.

Un autre caractère de ce terrain gris, qu'il ne faut pas omettre, c'est la grande uniformité d'allure qu'il affecte. Il est traversé par les mélaphyres sur plusieurs points; il paraît même avoir éprouvé sous leur in-

fluence des soulèvements en masse, accompagnés de quelques dislocations peu étendues ; mais, malgré les dénivellations qu'on observe entre les fragments des mêmes couches de part et d'autre des ravins du *Carpio*, de *Garganta fria*, en se plaçant sur une des hauteurs qui dominent, auprès de *San Benito*, ces diverses coupures du terrain, on suit très-aisément et de très-loin les lignes parallèles qui marquent les plans de superposition des grès, poudingues, argiles durcies, le tout constamment couronné d'une ou deux assises de grès ou poudingues, grès schisteux. La continuité de la stratification est surtout frappante, et de loin, on croirait avoir affaire à quelqu'une de ces formations secondaires calcaires dont le parallélisme des strates se dessine si nettement.

J'en ai dit assez, je crois, de cet étage pour conclure, en résumant ce qui précède, sur ses relations avec le terrain rouge du Biar. En comparant les coupes (*fig.* 6 et 7), on reconnaîtra une similitude très-grande entre le terrain gris et la première assise de poudingues du terrain rouge au point A de la carte.

Sur plusieurs autres points de la limite Est du grès rouge, notamment auprès du Castillo de Montegil, on voit aussi cette formation commencer par des couches métamorphyques semblables. Aux environs de San Benito, comme en A et à l'Est de Montegil, il y a superposition à stratification parfaitement concordante des assises rouges normales aux couches du terrain gris.

Dans le quartier de San Benito, j'ai même constaté sur plusieurs points des poudingues et psammites rouges normaux sous des assises métamorphiques du terrain gris. Nulle part, le long des limites Est et Ouest du

grès rouge, je n'ai observé de ces assises blanches ou grises, en dehors des affleurements de mélaphyres ou d'amygdaloïdes. La continuité et la netteté de la stratification du terrain gris lui sont communes avec le grès rouge normal.

Tous ces faits me semblent des arguments suffisants déjà pour conclure que le terrain gris n'est que du grès rouge métamorphisé par le voisinage des roches éruptives: mais je crois de plus que ces couches grises sont l'étage le plus inférieur de ce terrain. Je rappelle d'abord la puissance à peu près constante de cet ensemble métamorphique : 25 à 30 mètres. C'est l'épaisseur approximative de la première assise de poudingues dans la région nord du *Parroso*, de *las Infantas*, de la *Malmerienda*, etc. La présence des lits de charbon dans le terrain gris me semble ensuite le meilleur argument pour rapprocher son horizon de celui de l'assise inférieure des poudingues du *Parroso* et de la *Malmerienda*, où nous avons vu que l'on avait surtout ou presque exclusivement signalé ces petits lits de houille.

Ainsi, en résumé, le terrain gris ne serait que l'assise du terrain rouge normal, métamorphisé par les métaphyres ou amygdaloïdes. Il n'y aurait ainsi, dans cette vallée du Biar, qu'un *terrain rouge, homogène, dont j'essayerai maintenant de fixer la position dans l'échelle des formations.*

En rencontrant immédiatement au-dessus de terrains granitiques ou talco-schisteux des couches de poudingues et psammites portant quelques petits lits de houille, on a pu songer d'abord à voir là le terrain houiller; mais je ne crois pas que ce soit le nom du terrain rouge. A l'appui de cette opinion, je présenterai les raisons suivantes.

Quel peut être l'âge du terrain de grès rouge?

Le terrain houiller existe dans le voisinage, à *Villanueva del Rio*, c'est-à-dire sur le versant de la Encarnacion, opposé à celui que recouvre le grès rouge. Or, comme la description succincte de ce bassin le prouvera plus bas, il n'y a, entre la formation du *Biar* et le terrain du *Guezna*, aucune ressemblance ni au point de vue lithologique, ni au point de vue stratigraphique, encore moins sous le rapport de la richesse en combustible. Comment admettre que deux terrains houillers si voisins pussent différer si complétement?

Au surplus, j'ai vu le *bassin d'Espiel* et *Belmez*, j'ai traversé la formation carbonifère des *Asturies* et ces deux grands fragments de la période houillère en Espagne ne présentent aucun trait de ressemblance avec le terrain du Biar.

Les restes fossiles végétaux semblent appartenir au terrain houiller; mais, à moins que des espèces bien conservées ne viennent mieux préciser ces apparences, les genres *calamites* et *pecopteris* ne peuvent pas être, par eux-mêmes, des preuves déterminantes de la présence du terrain houiller, car on les trouve, en France notamment, dans des terrains plus récents que ce dernier. D'ailleurs, malgré l'abondance des argiles schisteuses où les empreintes végétales pourraient être nombreuses, on n'en rencontre cependant qu'une très-faible proportion. J'en dirai autant de la présence de la houille. Dans un terrain qui offre déjà une puissance de 150 à 200 mètres, on ne trouve, et à la base seulement, que deux ou trois minces filets de houille, dont la continuité même est au moins problématique. Ce fait qui, au point de vue industriel, diminue ou annule même l'importance de ce terrain, me paraît en même temps un argument pour lui refuser le nom de terrain houiller, car, développé et étendu comme il l'est, il se-

rait au moins étonnant de n'y pas rencontrer plus de restes végétaux.

Enfin, considérons cet étage argilo-calcaire que j'ai déjà montré directement superposé et à stratification concordante au-dessus des poudingues. Au moment où ses couches vont disparaître sous les terrains tertiaires de Cantillana, il semble qu'il augmente peu à peu d'épaisseur. Nous ne le voyons très-probablement à découvert le long du Biar, que sur les affleurements, à son minimum de puissance. Quoi qu'il en soit, la présence de ces calcaires au-dessus des poudingues et psammites; les alternances de ces premiers bancs calcaires avec des psammites ou des argiles bigarrées, me semblent autant de caractères qu'on n'est pas habitué à rencontrer dans les terrains houillers (1).

Je crois donc pouvoir conclure que le terrain rouge du Biar n'est pas du terrain houiller. Quant à fixer sa véritable position, c'est une question plus difficile, en l'absence de fossiles bien conservés et de points de repère même approximatifs.

La présence des masses calcaires de *Fuente luenga*, si rapprochées du terrain rouge, m'avaient fait penser à la formation du *vieux grès rouge;* mais, quoique le temps ne m'ait pas permis d'explorer et de bien délimiter ces masses calcaires, j'en ai vu assez, je crois, pour pouvoir avancer qu'elles sont intercalées dans des schistes presque verticaux ou plongeant au *nord-nord-est*, en stratification discordante avec les couches souvent presque horizontales du terrain rouge.

---

(1) Les calcaires signalés par M. Jacquot, ingénieur des mines, dans le bassin de Sarrebrück, qu'il a si bien décrit, sont loin d'y présenter l'importance qu'ils me paraissent avoir dans la formation rouge du Biar.

Considérant à la fois cette faible inclinaison des couches rouges, au centre et au sud de la vallée du Biar, en dedans des limites marquées sur la petite carte (Pl. IV, *fig.* 1), l'indépendance qu'affecte ce terrain rouge en s'allongeant le long de la rivière et recouvrant indistinctement schistes anciens et granite, il est impossible de ne pas comparer cette bande rouge aux pointes que lance le *trias* dans les anfractuosités de nos massifs anciens du centre et du midi de la France. La composition du terrain rouge répondrait d'ailleurs assez bien à celle du trias dans le midi de la France, et notamment dans l'*Aveyron* et le *Lot*.

Toutefois l'absence de fossiles ne permet pas d'affirmer que cette formation ne soit pas le représentant du zechstein. Les couches calcaires minces intercalées entre les psammites et argiles supérieures pourraient n'être que le début d'une formation calcaire plus importante. Enfin, la rencontre de nids ou veines de *fahlerz* et *cuivres carbonatés*, à différentes hauteurs dans ce terrain, pourrait être un dernier argument, mais non décisif toutefois, en faveur du nouveau grès rouge.

L'étude ultérieure des régions centrales des provinces de *Jaen*, *Cordoue* et *Séville*, étude qui reste, à très-peu près, à faire en entier, permettra sans doute de relier ce terrain rouge du Biar aux formations secondaires qu'on sait exister dans les parties orientale et centrale de l'Andalousie. Pour aujourd'hui, je dois me borner aux faits qui précèdent, une conclusion définitive étant toujours fort difficile à un voyageur sur un pareil sujet. Je reviendrai encore un peu plus bas sur les relations qui peuvent exister entre ce terrain et le bassin houiller dont il va être question.

Terrain houiller de Villanueva del Rio.

Le bassin houiller de Villanueva del Rio affleure sur les deux rives du rio Guezna. Un peu en aval de la ren-

contre du rio Tamajoso et du Guezna, il s'étend en éventail sur une superficie de 150 à 160 hectares.

Appuyé au *nord*, à l'*est* et à l'*ouest* sur les schistes argileux ou talqueux, il disparaît au sud sous les terrains tertiaires.

La superposition des grès et poudingues houillers aux schistes argilo-talqueux est évidente au nord-est, car, dans ces directions, le terrain tertiaire ne s'avance pas assez pour masquer les limites du bassin houiller; mais vers l'ouest, on ne suit pas aussi bien la ligne de contact entre le terrain carbonifère et les schistes anciens, les alluvions modernes ou quelques lambeaux de grès ou mollasse tertiaire couvrant les formations anciennes. Cependant quand on a observé la nature constante du terrain schisteux au nord et à l'est du bassin houiller, on reconnaît aisément vers l'ouest plusieurs lambeaux schisto-talqueux, dont on voit le niveau s'élever peu à peu en marchant du Guezna vers la Encarnacion. **Limites et terrains encaissants.**

Ces schistes, qui encaissent le terrain houiller, sont tantôt d'un vert sale, tantôt d'un jaune rougeâtre, plus rarement blancs et gris, au moins à la surface. Ils sont généralement plutôt tendres que durs; pourtant on y voit quelquefois des veinules de quartz. Dirigés sur le nord-nord-ouest, plus rarement sur le *nord-ouest* plein, ils sont toujours à peu près verticaux ou plongeant fortement sur l'*est-nord-est*.

C'est sur les tranchées presque droites de ce terrain ancien que repose l'ensemble représenté par la coupe suivante, prise de bas en haut (*fig.* 8) : **Composition du terrain houiller.**

1. Conglomérat ou poudingue à noyaux ou fragments de schistes talqueux, quartz et quartzites, dont la grosseur atteint celle du poing et plus, couleur d'un blanc ou gris rougeâtre.

2. Grès ou poudingues moins grossiers, de couleur grise, avec quelques bancs subordonnés de schistes bleuâtres. Dans les bancs de grès et de schistes bleuâtres, on voit une multitude de tâches jaunâtres d'hydroxyde de fer, qui semble être le résultat de la décomposition de noyaux de carbonate de fer lithoïde.

3. Deux ou trois couches de houille alternant avec des schistes noirs ou bleuâtres chargés d'empreintes végétales.

4. Poudingues à petites parties, passant à des grès grossiers d'un gris blanchâtre. On y distingue des noyaux de quartz noir assez nombreux, surtout dans ceux qui forment le toit de l'étage charbonneux.

5. Diverses assises de grès grossiers et poudingues à petites parties, d'un grès jaunâtre ou rougeâtre. On y voit, mais rarement, des lits schisteux, minces, noirs, avec indices de houille.

Caractères lithologiques.

Les poudingues et grès de cet ensemble, c'est-à-dire les roches qui le composent à peu près en entier, sont généralement feldspathiques, mais presque exclusivement formés de noyaux ou fragments de quartz gris; plus rarement, par exemple, dans le poudingue rougeâtre de la base, on y trouve aussi des fragments de talc-schistes rouge ou gris.

Les schistes sont argileux, plus ou moins durs, presque toujours noirs, bitumineux et chargés des empreintes ordinaires du terrain houiller. On trouve d'assez nombreux noyaux, ordinairement de très-petites dimensions, de carbonate lithoïde.

Les schistes sont rarement micacés, mais les grès ou poudingues à petites parties le sont beaucoup plus fréquemment.

Les grès et poudingues jaunâtres, rougeâtres, ferrugineux de la partie supérieure, sont peu solides et se

détruisent aisément, donnant alors des sables d'un jaune rougeâtre qui comblent les dépressions du sol.

Caractères stratigraphiques.

Les couches du bassin du Guezna sont loin de présenter la netteté de stratification que j'ai constatée dans la formation rouge du Biar. Les assises de grès et poudingues semblent se renfler ou s'amincir successivement lorsqu'on les suit sur d'assez faibles étendues. Prises dans leur ensemble, et surtout dans des coupures nettes, comme celles que produisent le *Tamajoso* et le *Guezna*, sur le point où leurs eaux s'unissent, elles accusent cependant un ordre de superposition assez bien déterminé : c'est celui de la coupe *fig.* 8.

Le pendage général des assises est au sud avec un double relèvement latéral à l'est et à l'ouest. La coupe hypothétique, *fig.* 9, rend compte de cette allure du terrain. Il est possible que, comme le suppose cette coupe, les couches fassent de l'est à l'ouest un fonds de bateau, dont l'axe coïnciderait à peu près avec l'axe du bassin, c'est-à-dire avec la projection du lit du Guezna; mais il se pourrait aussi que, vers le centre du bassin, il y eût quelque faille nord-sud ou nord-ouest-sud-est. Les travaux actuels sont loin de permettre aucune appréciation certaine à cet égard.

Sur les bords Est et Ouest de cette sorte de cuvette que forme le terrain houiller, ses assises sont brusquement relevées sous des inclinaisons de 25 à 50 degrés sur l'horizontale; mais le pendage général sud fait un angle de 10 à 15, 20 degrés, au maximum, avec l'horizon. C'est avec ces dernières inclinaisons qu'on voit, au coude du Guezna, les grès et poudingues houillers disparaître sous les mollasses tertiaires, à peu près horizontales.

Les caractères qui viennent d'être esquissés sem-

blent annoncer une certaine régularité dans l'ensemble de l'allure du bassin du Guezna. Les travaux, qui sont jusqu'ici restés dans le voisinage des affleurements, n'ont pas non plus constaté de grands dérangements. Pourtant, j'ajouterai que, sur plusieurs points, à la surface, on voit des traces de contournements de couches, qu'il n'est pas possible de vérifier à l'intérieur, à cause de l'isolement de travaux d'ailleurs si peu développés. Ainsi, un peu au nord du confluent du Tamajoso et du Guezna, on voit très-bien les assises du terrain se relever vers le nord pour ensuite plonger dans la même direction et constituer deux petits lambeaux à stratification presque horizontale, l'un sur la droite et l'autre sur la gauche du Tamajoso.

Au pied sud du *Cerro de los Pedernales*, la limite du terrain houiller avec les schistes anciens, après avoir suivi au nord la direction *nord-sud*, tourne ce monticule et s'infléchit vers l'ouest pour redescendre ensuite au *sud-est* de la *Hacienda de Monteoreas*. Au changement de direction paraît correspondre plus qu'un contournement; il est probable qu'il y a là quelque faille de part et d'autre de laquelle les couches plongent d'une manière très-différente.

Richesse de ce bassin en houille. Puissance du terrain le long du Guezna.

La question importante au point de vue industriel, c'est-à-dire celle de la détermination du nombre des couches, de leur puissance, de leur allure ne saurait être résolue définitivement en l'état actuel des travaux. Toutefois, voici quelques données qu'on peut considérer comme assez positives.

Dans la région ouest, au pied du *Cerro de los Pedernales*, et un peu au sud des bureaux de la compagnie du Guadalquivir, on voit très-bien les affleurements houillers, le faisceau de couches qu'on coupe là présente la succession suivante :

mèt.	mèt.
2,20 de houille.	2,10 de houille.
0,80 de schistes.	0,75 de schistes.
0,50 de houille.	0,65 de houille.
0,80 à 1 mètre de schistes.	Et au-dessus, schistes, grès et poudingues.

Soit en tout : 4m,45 de houille.

C'est le seul point de la rive droite du Guezna où l'on voit bien les affleurements. Au nord, on ne retrouve au jour que des traces incertaines de ces couches; mais les nombreux puits ouverts par la compagnie du Guadalquivir, toujours à peu de distance des limites nord et ouest, ont rencontré un faisceau analogue à celui-là. On paraît avoir recoupé par tous ces puits deux couches principales : l'une, supérieure, aurait 1m,60 à 1m,80 de puissance, et l'autre, 2 mètres à 2m,50. Enfin, sur plusieurs points, il existerait une troisième couche inférieure, de 0m,40 à 0m,60, mais souvent sale et rétrécie au point de devenir inexploitable. L'un de ces puits aurait donné la coupe suivante :

	mèt.	
Houille.	1,70	(1)
Schistes.	2,00	
Houille.	2,00	
Schistes.	0,85	
Houille.	0,45	

Sur la rive gauche, on ne voit guère qu'un affleurement à la rencontre des deux rivières (Guezna et Tamajoso). Les innombrables puits ouverts de ce côté, par

(1) Les houilles du bassin de Villanueva-del-Rio doivent être rangées dans la classe des houilles grasses collantes et tendres; généralement très-pures, elles donnent, par calcination, un coke argentin, brillant, mais très-léger. Deux échantillons, l'un provenant des travaux de la Réunion et l'autre des travaux du Guadalquivir m'ont donné : le premier, 72,50 p. 100 de coke; le second, 74,00.

la compagnie de la Réunion, n'ont généralement atteint qu'une couche de 2 mètres à 2m,20 de puissance, quelquefois divisée en deux ou trois bancs par des nerfs schisteux d'un à deux pouces d'épaisseur. Deux ou trois puits seulement auraient de ce côté recoupé une couche inférieure de 0m,50 à 0m,60, d'assez mauvaise qualité et le plus souvent inexploitable.

Tout ce qui précède se rapporte à la partie la moins épaisse du terrain houiller, les travaux n'ayant pas, jusqu'aujourd'hui, pénétré dans la région centrale.

Si l'on s'en rapporte aux coupes observées dans les divers puits et aux coupes superficielles, on peut fixer la puissance de ce terrain houiller à 60 ou 80 mètres dont 20 à 25 mètres de poudingues et grès, à la base, 10 à 15 mètres d'étage schisteux et charbonneux, 30 à 40 ou 50 mètres de grès ou poudingues supérieurs.

Importance de ce bassin. Son prolongement sous les terrains tertiaires.

La proximité de ce bassin, par rapport au Guadalquivir et à Séville, lui donne déjà une grande importance; mais s'il ne s'agissait que de la portion aujourd'hui découverte, cette importance serait cependant assez réduite. Ce qui peut lui assurer un avenir beaucoup plus brillant, c'est, s'il se vérifie, son prolongement sur les terrains tertiaires que j'ai décrits précédemment.

Si l'on se reporte à ce que j'ai dit précédemment des limites de ce bassin et si l'on jette les yeux sur la carte, Pl. IV, *fig.* 1, on verra que c'est à peu près exclusivement au sud que le terrain houiller peut se prolonger sous les terrains tertiaires. A l'ouest, entre les *Cerros des Pedernales* et de *la Encarnacion*, les alluvions, sables et mollasses tertiaires s'avancent bien et même assez haut; mais, d'une part, les couches houillères se relèvent vers l'ouest, au pied de *los Pedernales*, et de l'autre, partout où, dans cet espace, on découvre la base sur laquelle

reposent les couches miocènes et les alluvions, on reconnaît qu'elle est formée par les tranches droites des mêmes schistes qui limitent le terrain houiller au nord et à l'ouest.

Au contraire, vers le sud, au coude du Guezna, on voit nettement les assises miocènes appuyées sur les grès et poudingues houillers. Au surplus, une première vérification de la continuation du terrain carbonifère sous les étages tertiaires a été faite, il y a déjà plus de dix ou douze ans, par un sondage placé dans la partie sud des concessions de la Réunion (Voyez la carte, *fig.* 1).

Ce sondage, exécuté par M. Degousée, a donné la coupe suivante, d'après les notes de cet ingénieur.

	mèt.	mèt.
Sables avec blocs de grès.	11,70	11,70
Sables argileux avec coquilles. . .	7,10	18,80
Sables bleuâtres.	3,80	22,60
Argiles vertes.	2,10	24,70
Roche granitique (1).	0,45	25,15
Terrains tertiaires : 25 à 30 mètres.		
Argiles grises sableuses.	4,25	29,40
Argiles noires.	3,00	32,40
Argiles jaunes très-dures.	4,45	36,85
Argiles rouges.	4,40	41,25
Roche quartzeuse.	5,30	46,55
Schistes.	1,06	76,87
Roche quartzeuse.	5,54	82,41
Schistes et roche quartzeuse. . . .	2,78	85,19
Schistes et charbon.	15,29	100,48
Schistes	3,60	104,08
Houille.	1,70	105,78
Roche quartzeuse.	10,92	116,70
Houille.	1,33	118,03
Schistes.	10,00	128,03
Terrain houiller : 90 à 100 mètres.		

(1) Peut-être déjà des poudingues.

Ce sondage a été, il est vrai, exécuté, comme le montre la carte, bien près de la limite des deux terrains; mais, en parcourant la limite sud de ces deux formations, j'ai constaté partout que les couches houillères s'enfoncent sans accident sous les assises tertiaires et rien ne peut faire supposer une brusque interruption des premières, immédiatement au sud de la ligne de recouvrement par les secondes. Sans vouloir assurer que le prolongement du bassin houiller sera indéfini dans ce sens, je crois qu'il n'y a rien d'exagéré à admettre son existence sur les bords du Guadalquivir, et particulièrement dans l'espace compris entre les rios *Guezna* et *Galapagar*, ou bien encore, pour mieux préciser, entre *San Antonio* et *Villanueva del Rio*.

On a plus d'une fois vu là le principe d'une vaste formation houillère, qui, comprenant la vallée du Biar, s'étendrait, sous les terrains tertiaires, jusques et au delà de Séville et Carmona. Cette hypothèse est en effet fort séduisante : malheureusement, bien peu de faits ont été présentés à l'appui.

J'ai déjà montré quelles différences existent entre le terrain du Biar et le bassin houiller de Guezna : je me crois même fondé à ne pas ranger le premier dans la formation carbonifère, mais à le regarder comme postérieur. D'un autre côté, il est possible que, sous ce terrain rouge, la houille existe comme dans le Guezna; mais, pour ma part, malgré des recherches assez longues et soignées, je ne l'ai vue affleurer nulle part dans la vallée du Biar. En outre, je puis rapporter ici les résultats de deux sondages faits le long du Biar, l'un à la *Huerta Vicente*, au nord de *Cantillana*, et l'autre en face de ce village, à l'embouchure du Biar, dans le Guadalquivir; tous deux étaient à la recherche du terrain houiller; ils ont été abandonnés sans donner

aucun résultat, sinon la confirmation au moins partielle de ce que j'ai dit sur la nature du terrain rouge du Biar. Voici ces résultats, tels qu'ils ont été transcrits sur les livres de M. Degousée :

1° *Sondage de la Huerta Vicente.*

	mèt.	mèt.
Terrain rouge.		
Terre végétale.	1,60	1,60
Schistes de diverses couleurs. . .	10,00	11,60
Argiles rouges, noires, bleues, avec empreintes.	13,20	24,80
Sables avec graviers.	2,00	26,80
Poudingues.	6,00	32,80
Schistes anciens.		
Schistes durs.	14,00	46,80
Sables avec graviers éboulants. . .	2,10	48,90
Schistes parfois excessivement durs	22,35	71,25

2° *Sondage de l'embouchure du Biar.*

	mèt.	mèt.	
Terre végétale.	2,00	2,00	(1)
Poudingues.	13,00	15,00	
Argiles rouges sableuses.	40,00	55,00	
Poudingues rouges.	20,00	75,00	
Argiles rouges sableuses.	30,00	105,00	
Poudingues rouges.	15,00	120,00	
Argiles rouges avec gravier. . . .	43,70	163,70	

En examinant sur les lieux l'allure des couches du terrain rouge à l'ouest du premier de ces deux sondages, on reconnaît aisément que c'est la base de cette formation qui recouvre là un lambeau de schistes anciens durs, satinés, presque droits, lambeau appuyé, à

(1) Les premiers poudingues, et même une certaine épaisseur des 40 mètres d'argiles qui les suivent, semblent avoir été différents de ceux traversés plus bas, et appartenir sans doute aux alluvions et argiles tertiaires qui forment là la rive du Guadalquivir.

son tour, un peu plus à l'ouest sur le granite de la sierra de Castilblanco. Or, d'après les estimations que j'ai présentées plus haut, cette base peut avoir 25 à 30 mètres de puissance : le sondage aurait donc traversé sur ses trente ou trente-deux prémiers mètres les assises rouges inférieures et les trente-huit ou trente-neuf derniers mètres seraient en entier dans les schistes anciens. Ce résultat prouve qu'au moins, dans cette région, il n'y a pas entre le terrain rouge et les schistes anciens de formation intermédiaire, fait que j'avais déjà signalé à la suite de mes observations superficielles (1).

Quant au second sondage, il me paraît avoir traversé d'abord 20 à 30 mètres d'argiles et alluvions tertiaires et environ 140 mètres de terrain rouge, présentant la même succession d'assises que celle indiquée précédemment et avec des puissances à peu près celles que j'ai données, si l'on tient compte de l'inclinaison des couches. Sur toute cette profondeur, on n'a rencontré aucun indice de houille ; à 130 mètres seulement, l'une des couches argileuses s'était montrée bitumineuse sur une petite épaisseur. Ainsi, d'une part, sur la rive même du Guadalquivir, ce sont les assises rouges qui se montrent immédiatement sous les étages tertiaires près de l'embouchure du Biar ; d'autre part, après avoir traversé là 140 mètres de ces terrains, on n'avait pas atteint leur limite inférieure : si donc le terrain houiller existait réellement sous le terrain rouge en ce point, ce qui est au moins très-incertain, d'après tout ce qui précède, il faudrait encore sans doute approfondir beaucoup pour le rencontrer.

(1) Ces sondages ont tous deux, d'après M. F. de Lujan, donné des eaux jaillissantes, et, chose assez remarquable, dans le premier, ces sources se seraient ouvertes à peu près à la séparation du terrain rouge et des schistes anciens.

Conclusions sur le terrain houiller de Villanueva del Rio.

J'en ai dit assez, je crois, pour faire voir que l'existence du terrain houiller sous les étages tertiaires n'est jusqu'ici à peu près certaine qu'aux environs du Guezna et de Villanueva, et que les faits connus aujourd'hui semblent devoir faire craindre qu'il ne se prolonge pas autant qu'on le supposait dans la province de Séville. Je ne sache pas d'ailleurs qu'il ait été signalé nulle part, en dehors de cette région, sous les terrains tertiaires.

Si l'on doit songer à la recherche de la houille à travers les étages miocènes, toutes les raisons se réunissent pour fixer le choix de l'emplacement sur l'espace compris entre le *Galapagar* et le *Guezna.*

Il resterait à déterminer à quelle profondeur totale on a de chances de la rencontrer sur ce point. Or, j'ai dit que la puissance tertiaire entre Villanueva et Carmona pouvait atteindre environ 100 mètres; mais dans l'espace qui nous occupe, elle ne dépasserait certainement pas 60 à 70 mètres au grand maximum, si, comme on a tout lieu de le supposer, les couches à grandes huîtres et mollasses du Guezna sont bien les assises les plus basses des étages tertiaires (1). D'un autre côté, si les couches houillères qui, au coude du Guezna, disparaissent sous les bancs d'huîtres, sont les dernières du bassin de Villanueva; si elles se prolongent vers le sud avec l'inclinaison de 10 à 15° qu'elles offrent là, on trouve, en tenant compte d'ailleurs du profil nord-sud de cette région, qu'à une distance de 1 ou 2 kilomètres

(1) Je fais cette réserve, parce que dans plusieurs cas pareils, en France, la puissance apparente des terrains tertiaires a souvent trompé les explorateurs. Ici, toutefois, je le répète, partout où se voient les terrains tertiaires au pied de la Sierra-Morena, ils commencent par les couches à grandes huîtres, qui paraissent bien ainsi former l'horizon le plus bas de cette formation.

au sud du coude, ces couches seraient à une profondeur de 350 à 400 mètres sous le jour. Défalquant 70 mètres de terrains tertiaires, il resterait donc un intervalle de 300 mètres environ entre ceux-ci et le terrain houiller. Cet intervalle peut être comblé soit par une augmentation des terrains tertiaire et houiller, soit par l'interposition d'un terrain intermédiaire, ou bien enfin par un relèvement des terrains inférieurs vers le sud de l'espace en question.

Rien ne permet de prévoir l'augmentation tertiaire; rien non plus n'annonce un relèvement inférieur. Quant à l'interposition d'un terrain intermédiaire, je ne vois que le terrain rouge du Biar qui puisse s'intercaler dans ce vide. Il n'y aurait là rien d'impossible, car ses derniers affleurements (les plus voisins de Villanueva) se montrent dans le Parroso, au pied de la Encarnacion : ses assises pourraient, contournant le pied sud de ce cerro, venir par la Lentiscosa, s'étendre sous les assises tertiaires de *S. Antonio* et Villanueva, comme ils se sont montrés sous les argiles et alluvions de Cantillana. Mais, dans cette hypothèse même, la puissance de ce terrain rouge ne me paraissant pas pouvoir dépasser 150 à 200 mètres sur ces points, de l'intervalle de 300 mètres, il resterait encore au moins 100 mètres à combler par du terrain houiller. C'est dire qu'il y aurait encore ainsi chance d'augmentation de la puissance du bassin du Guezna, en s'enfonçant sous les étages miocènes.

Maintenant il est bon de rappeler que ce ne peuvent être là que des indications ou des déductions un peu hypothétiques, les données sur lesquelles je m'appuie pouvant aisément varier d'un point à l'autre en profondeur. Je termine par une dernière observation : il est probable que si l'on voulait sonder à plus de 2 ou 3 ki-

lomètres au sud du Guezna, l'épaisseur à traverser augmenterait sensiblement; d'ailleurs il ne faut pas perdre de vue le peu d'étendue de la portion découverte du bassin houiller; ce pourrait n'être qu'un lambeau se terminant assez vite sous les terrains tertiaires.

III. FORMATION PYRITO-CUIVREUSE DE LA PROVINCE DE HUELVA.

Diverses classes de gîtes cuivreux dans la province de Huelva.

La province de Huelva renferme des gîtes cuivreux de deux ou trois sortes : 1° des amas énormes et massifs de *pyrite de fer cuivreuse*; 2° des filons et stockwerks où le cuivre se trouve à l'état d'oxydes, carbonates et sulfures divers; 3° des filons de cuivre pyriteux, cuivres gris, etc. Mais les premiers gisements sont, au moins jusqu'aujourd'hui, de beaucoup les plus importants, et c'est particulièrement cette formation que je me propose d'étudier ici. Les filons ou stockwerks d'oxydes, carbonates et sulfures se montrent surtout dans le nord de la province, à travers les schistes de transition ou dans les couches de ce calcaire ancien dont j'ai parlé plus haut : ils semblent appartenir à un faisceau qui serait dirigé *ouest-sud-ouest* à *est-nord-est*. Les filons de cuivres gris affleurent isolément sur quelques points de la partie centrale de la province; les quelques affleurements que j'ai visités sont orientés sur nord-nord-est, sud-sud-ouest.

Avant de décrire la formation pyrito-cuivreuse en amas, je compléterai ce que j'ai à dire de la constitution géologique du terrain qui l'encaisse.

Aspect général et constitution géologique du terrain où se trouvent les amas pyrito-cuivreux.

Si l'on jette les yeux sur la carte de la province de Huelva (*fig.* 10), on voit que le terrain de transition en occupe la plus grande partie. Sous le rapport de sa constitution, comme sous celui du relief extérieur du sol, il me paraît y avoir une ressemblance parfaite

entre ce terrain et ceux du même âge de la haute Sierra-Morena ou de l'Estramadure.

De quelque côté qu'on pénètre dans le cœur de la province de Huelva, on est frappé de l'uniformité du panorama : des plateaux, souvent très-étendus, où la vue n'est arrêtée par aucune ondulation importante; au-dessus des plateaux, des montagnes isolées ou plutôt des crêtes déchiquetées s'élèvent de loin en loin, comme des ruines alignées sur une direction constante.

Les plateaux ou parties basses sont toujours composés de schistes ou grauwackes schisteuses; les crêtes, au contraire, sont formées de porphyres, de roches porphyroïdes ou de jaspes, qui jouent ici, au moins sous le rapport orographique, le même rôle que les quartz et quartzites de la haute *Sierra-Morena.*

Une des lignes de crêtes semblables les plus importantes est celle qui, partant des environs de *Rio-Tinto* et du *Castillo de las Guardias*, se poursuit à l'ouest vers la frontière de Portugal. On en voit d'autres entre le *Cerro* et *Calañas*, entre *Valverde*, *Tharsis* et l'*Alosno*, etc.

Caractères des roches de transition sur les points où elles ne sont pas métamorphisées.

Sous le rapport lithologique, les roches de transition se présentent rarement avec leurs caractères normaux, aux environs de la zone occupée par les amas pyriteux; pour les retrouver, il faut s'éloigner un peu de ceux-ci et des roches éruptives ou métamorphiques qui les accompagnent presque toujours. Ainsi, sur les rives de l'Odiel, entre *Gibraléon* et *Tharsis*; entre les lignes de crêtes qui passent à *Calañas*, *Valverde*, d'une part, et à *Rio-Tinto*, au *Cerro*, etc., de l'autre, on peut particulièrement observer les grauwackes, les phyllades et les schistes argileux ou ardoisiers qui occupent la plus large place dans cet ensemble.

Les grauwackes sont tantôt argileuses, tantôt presque exclusivement siliceuses. Dans le premier cas, elles sont souvent schisteuses, en bancs assez minces, composées alors d'une pâte argileuse ou argilo-feldspathique dans laquelle sont des petits noyaux ou fragments de quartz gris, vert ou noir et une foule de petites taches ocreuses. Dans le second cas, la grauwacke est à grains plus fins, beaucoup plus dure; enfin, elle est alors aussi en bancs plus épais. Les fragments comme la pâte sont assez souvent micacés.

Les schistes avec lesquels alternent les grauwackes sont toujours assez fissiles, d'un bleu noirâtre, violacé ou grisâtre, quelquefois satinés, doux au toucher; enfin, généralement peu solides, ils donnent une poussière fragmentaire qu'emporte aisément la moindre pluie.

A part certains bancs de grauwacke très-siliceuse, qui ressemble à de vrais grès avec un grain parfois extrêmement fin, je n'ai pas rencontré de quartzites comme ceux qui ont été signalés dans la haute Sierra-Morena et en Estramadure. Mais les jaspes sont très-abondants dans toute la zone occupée par les amas pyrito-cuivreux. Ce sont eux généralement qui forment ces crêtes déchiquetées, figurant si nettement la direction des couches, entre lesquelles ils sont intercalés en bancs discontinus. Opaque et colorée en rouge plus ou moins foncé, avec des taches d'une teinte de vermillon, cette roche est d'une très-grande dureté : c'est à cette propriété qu'elle doit de rester ainsi en crêtes souvent très-élevées au milieu des couches qui l'encaissent.

Je n'ai pas été assez heureux pour rencontrer de restes fossiles dans aucune des roches précédentes.

Là où elles ne sont pas altérées par le voisinage de roches éruptives, les couches de transition de la province de Huelva se suivent avec une direction et une

Allure de couches de transition.

plongée assez constantes. La direction oscille autour de N. 55° à 60° O. *m.*, soit O. 10° à 15° N. vrai. La plongée est toujours au nord, sans être jamais très-forte; je l'estime à 15 ou 20° en moyenne.

Roches éruptives qui affleurent dans ces terrains. Les caractères dont il vient d'être question, mais plus particulièrement les caractères lithologiques, se modifient beaucoup dans toute la zone des amas pyrito-cuivreux et des roches éruptives qui les accompagnent.

Lorsqu'on parcourt ces contrées pour la première fois, on est frappé du grand nombre des affleurements de certaines roches vertes, souvent porphyroïdes, qu'*à priori* on est tenté de ranger parmi les roches éruptives; mais lorsqu'on y regarde d'un peu plus près et surtout lorsque, sur une collection d'échantillons un peu nombreux, on se livre à une étude comparative, on arrive à reconnaître que l'importance des roches éruptives est beaucoup plus restreinte et qu'un grand nombre de celles auxquelles on a donné ce nom doivent rentrer parmi les produits métamorphiques.

Les roches éruptives, bien caractérisées comme telles, que j'ai observées dans la province de Huelva, appartiennent à la classe des *diorites* ou *porphyres dioritiques*. J'ai essayé d'indiquer sur la carte de la province de Huelva (*fig.* 10) les affleurements que j'ai rencontrés; mais il est inutile de faire remarquer que je ne prétends nullement les avoir représentés exactement. En effet, je ne les ai sans doute pas tous reconnus, et d'ailleurs, il y a un passage si fréquent des *diorites* et *porphyres dioritiques* aux roches vertes dont il sera question plus bas, qu'il est impossible peut-être de les délimiter réciproquement; j'ai même dû indiquer par la même teinte les deux espèces de roches; mon but, en les figurant sur la carte, a été de préciser rapidement

leur allure générale et leur relation probable avec les masses minérales.

Voici la description succincte de quelques-unes des variétés les mieux caractérisées : Diorites et porphyres dioritiques.

Au nord de l'amas pyrito-cuivreux exploité par M. Domine, aux environs de Cala, on voit affleurer une roche composée d'*amphybole*, de *feldspath* et d'un peu de quartz. Le feldspath y est en cristaux blancs et l'amphibole en masses lamelleuses d'un vert sombre. La roche porte de nombreux cristaux de grenats rouges et de petites masses ou veinules de chaux carbonatée légèrement rosée, avec des clivages très-prononcés. Enfin, on distingue quelques grains de pyrite cuivreuse sur les contours des veines de carbonate de chaux.

Cette roche passe à un véritable porphyre où, dans une pâte qui tient à la fois l'amphybole et le feldspath, on distingue encore des cristaux de feldspath et de grenats : il fait une vive effervescence aux acides.

Au *Cerro*, il y a des affleurements importants d'une roche composée de feldspath (albite) et d'amphibole d'un vert noirâtre ; on y voit quelquefois des grains de quartz, la roche passant ainsi à la syénite. Elle ne fait pas effervescence.

Entre les mines de *Tharsis* et *Valverde*, rive gauche de l'*Oraque*, se trouve un massif de roche verte se délitant aisément en boules. Formée d'une masse feldspathique d'un vert clair, à cassure cireuse, elle est parsemée d'une multitude de petites aiguilles noires, sans doute amphiboliques.

A une très-petite distance au nord de la petite masse pyriteuse exploitée à *Poyatos*, se montre un vrai porphyre amphibolique. Au milieu d'une pâte d'un vert clair, on distingue des cristaux blancs nacrés de feldspath (albite) qui ont jusqu'à 4 ou 5 millimètres de

longueur; on y reconnaît aussi des noyaux allongés d'amphibole noire ayant 2 ou 3 millimètres de longueur. Sur ce point en particulier, on voit nettement, de chaque côté de la petite bande porphyrique, les strates de transition transformées en amphibolites porphyroïdes, tout en conservant leurs caractères stratigraphiques.

Au nord des travaux de la *Margocilla* (*Tharsis*), se trouve un affleurement qui paraît lenticulaire, composé d'une roche analogue aux précédentes; on y distingue, au milieu de la pâte vert clair, des cristaux blancs de feldspath : elle fait effervescence aux acides.

A *Rio-Tinto*, presqu'au contact des amas pyriteux, on voit une roche à peu près exactement de même nature.

Dans toutes les variétés qui viennent d'être décrites, la masse de la roche paraît en général compacte, avec une cassure conchoïde ou légèrement esquilleuse; dans cette masse s'aperçoivent des cristaux bien nets, orientés de diverses manières, sur des directions qui s'entrecroisent souvent.

Roches métamorphiques. Différences entre elles et les véritables roches éruptives.

Dans les roches métamorphiques ou au moins qui me paraissent telles, on voit bien encore dans une masse d'un vert clair des grains ou petits cristaux de feldspath blanc, souvent nacré; mais les cristaux semblent orientés par rapport à une direction uniforme et la roche prend très-souvent un aspect schistoïde. De plus, la cassure est rarement conchoïde; elle présente presque toujours un aspect fibreux et tourmenté. La plupart de ces roches font effervescence.

D'un autre côté, tandis que les masses éruptives proprement dites n'affectent pas de caractères stratigraphiques, les roches vertes simplement métamorphiques se suivent sur d'assez grandes étendues avec toute

l'apparence de couches stratifiées. La plongée et la direction sont généralement faciles à reconnaître et elles sont sensiblement les mêmes que pour les schistes et grauwackes non altérés.

Équivalents de ces roches métamorphiques, en France.

Pour mieux préciser la nature de ces roches métamorphiques, j'ai cherché quelques termes de comparaison dans nos collections françaises : les roches que M. Delesse a décrites sous le nom de grauwackes des Vosges me paraissent singulièrement ressembler à celles dont je m'occupe. En second lieu, je citerai ces roches porphyroïdes verdâtres qu'on rencontre sur les bords de la Loire, aux environs de Roanne, et qui, suivant M. Grüner, ne sont que des grès porphyriques ou formés de débris porphyriques. Les roches vertes de la province de Huelva diffèrent bien un peu de celles de la Loire par leur caractère à peu près constant de schistosité; mais c'est là un effet de la différence de nature première des couches métamorphisées, c'est-à-dire de la différence entre les schistes ou grauwackes de Huelva et le millstone-grit des environs de Roanne.

Eurites quartzifères. Argilophyres.

Outre les roches dont je viens de parler, on rencontre encore et associées aux premières des eurites ou feldspaths compactes, dans la pâte desquels on distingue un grand nombre de grains de quartz gris et vitreux. Les mieux caractérisés que j'aie vus sont dans la bande métamorphique où gisent les amas de *Rio-Tinto* et dans le massif de l'*Oraque*; il n'y manque que des cristaux de feldspath pour en faire de véritables porphyres quartzifères.

Enfin, on voit souvent aussi des bancs pétro-siliceux d'un gris verdâtre au milieu des schistes et grauwackes métamorphiques; parfois aussi la roche devient blanche, à cassure légèrement conchoïde et terreuse, rappelant alors certains porphyres argileux, les *argilophyres*.

Peut-être encore ne sont-ce là que des bancs argileux légèrement durcis et blanchis.

Allure des roches éruptives et métamorphiques.

Les diorites et porphyres dioritiques affleurent sous forme de masses coniques, plus ou moins considérables, alignées sur la direction moyenne N. 60° O.-M., c'est-à-dire comme les strates mêmes du terrain de transition. Il ne m'a pas été possible de vérifier, nulle part, une coupure nette des roches siluriennes par ces masses éruptives, qui sembleraient, sur beaucoup de points, s'être introduites par simple écartement entre les couches anciennes.

Les eurites et pétrosilex se montrent sous forme de filons ou de bancs couchés entre les strates vertes métamorphiques. Quant à celles-ci, elles occupent des zones souvent assez étendues autour des cônes porphyriques en conservant la direction moyenne des schistes et grauwackes normaux. Le pendage seul est un peu plus variable, l'inclinaison étant tantôt au nord, tantôt au sud, mais généralement plus forte que dans la région où le terrain n'a pas été altéré. Le pendage nord prédomine toutefois de beaucoup. J'ai rencontré les jaspes à peu près exclusivement dans les zones occupées par ces roches vertes porphyroïdes : ce sont eux qui marquent le mieux la direction des assises et qui donnent les crêtes les plus élevées.

J'ai cherché à marquer les principales de ces crêtes, soit porphyriques, soit jaspoïdes, par une teinte un peu plus foncée, sur la carte de la province de Huelva.

Position des amas pyrito-cuivreux.

La même carte, où j'ai figuré tous les gisements importants aujourd'hui découverts, montre qu'ils sont situés, comme les *jaspes*, *eurites* ou *pétrosilex*, dans ces zones de roches vertes métamorphiques, qui semblent envelopper les masses dioritiques ou porphyriques.

Caractères des affleurements.

Ces gisements consistent en amas lenticulaires, intercalés entre les couches mêmes. On les trouve parfois au contact même ou à très-petite distance des porphyres, comme à Poyatos (Pl. VIII, *fig.* 1). C'est là que j'ai vu les porphyres les mieux caractérisés si rapprochés des masses minérales. Aux environs des autres masses, à Rio-Tinto (1), par exemple (Pl. VII, *fig.* 11), à Tharsis aussi (Pl. VIII, *fig.* 2), on voit bien des porphyres à une certaine distance, mais les roches mêmes de l'encaissement ne me paraissent, en général, que des produits métamorphiques. Les pétrosilex et eurites quartzifères longent souvent les masses minérales; c'est presque toujours à une faible distance de l'éponte nord que se voient ces bancs d'une dureté désespérante pour le mineur. Enfin, les jaspes sont aussi une roche d'accompagnement des affleurements pyriteux. Je les ai vus intercalés, en masses lenticulaires, au milieu même des affleurements, à Tharsis, et mieux encore, à Calañas (Zarza) (Pl. VII, *fig.* 12), à San Telmo, mine Americana (Pl. VIII, *fig.* 3). Le jaspe affleûre souvent aussi sur les prolongements des amas cuivreux; il semble alors en faire la continuation en pointe qui s'amincit et se perd peu à peu dans les schistes.

Les schistes encaissants de ces masses minérales, tout en appartenant à la classe des roches métamorphiques, présentent des caractères qui donnent aux affleurements un faciès tout particulier. Leur altération se manifeste de diverses manières : 1° par la présence de nombreux filets ou noyaux quartzo-ferrugineux qui, leur donnant

---

(1) J'ai extrait les *fig.* 11 et 13, Pl. VII, d'un remarquable travail publié par MM. L. Anciola et F. de Cosio, ingénieurs des mines espagnols, sur les mines de *Rio-Tinto*. Je dois les autres croquis d'affleurements à l'obligeance de M. Deligny, ingénieur en chef de la compagnie française des mines de Huelva.

plus de dureté, les font saillir en véritables crêtes, le long des limites des amas; 2° par la dissémination d'un grand nombre de grains pyriteux dans leur pâte noirâtre, ce qui les rend d'une facilité extrême de désagrégation sous les influences atmosphériques; 3° par un blanchiment et une sorte de décomposition par suite desquels ces schistes se sont transformés en une argile schisteuse, blanche ou bariolée, très-douce au toucher, ressemblant assez aux halloysites. Je n'ai, nulle part, observé de traces de fusion ou d'empâtement.

Ces diverses variétés de schistes altérés se trouvent indifféremment au mur et au toit des masses pyriteuses. Les salebandes sont plus généralement formées par les argiles blanches, souvent bariolées de blanc, de rouge ou de rose.

La masse minérale ayant été altérée peu à peu sous les influences atmosphériques, l'affleurement s'est creusé; les terres l'ont recouvert et avec elles la végétation, de sorte qu'à part les vestiges d'anciens travaux, qui existent sur la plupart de ces gisements, on n'a, pour en suivre les affleurements, que les lignes blanches des salebandes. Il est vrai qu'en général ce sont d'excellents guides; on en peut tracer les contours, même d'assez loin, avec une grande exactitude. Il semble, à certaine distance, que le sol se soit effondré en glissant sur l'une de ces surfaces bariolées de rouge et de blanc, l'autre restant en surplomb sur le vide produit.

Les quelques travaux repris récemment sur ces gîtes, quoique encore peu développés, ont cependant généralement reconnu qu'au moins pour des profondeurs de 50 à 60 mètres sous la surface, les amas sont toujours limités par les mêmes salebandes, se composant de minerai massif sur toute la distance qui les sépare. La masse débute même souvent par un élargissement; les

figures qui représentent les affleurements ainsi limités d'un certain nombre des masses cuivreuses, peuvent donc donner une idée assez précise de leur allure et de leur importance (Voy. *fig.* 11, 12, 13, Pl. VII, et *fig.* 1, 2, 3, Pl. VIII.

Ces divers croquis montrent que les salebandes, à l'affleurement, finissent toujours par se réunir en forme de coin après avoir éprouvé des écartements et des rapprochements assez variés.

Étendue des masses aux affleurements.

L'ensemble de l'affleurement, projeté sur un plan horizontal, présente ainsi la forme d'une ellipse allongée, orientée sur la même direction que les schistes, grauwackes, jaspes et porphyres, c'est-à-dire *N.* 55° *à* 60° *O. M.*, plongeant aussi comme les roches encaissantes. La puissance varie, suivant l'importance des masses, depuis 8 ou 10 mètres jusqu'à 100 et 150 mètres. La longueur d'un affleurement, sans discontinuité des salebandes, est rarement inférieure à 200 ou 300 mètres; elle atteint quelquefois 1 ou 2 kilomètres.

Caractère des amas à l'intérieur. Nature du minerai.

Les gisements compris entre les limites superficielles que je viens d'indiquer sont composés de pyrite de fer massive, tenant plus ou moins de cuivre pyriteux ou sulfuré, avec des proportions très-variables, mais généralement minimes aux profondeurs actuelles, de sulfures de plomb, de zinc et d'arsenic. Quelques-uns de ces minerais tiennent même de faibles traces d'argent. Dans ce minerai massif, on ne distingue ordinairement pas de gangues; l'analyse y fait reconnaître quelques centièmes de quartz ou de sable, quelquefois un peu argileux, disséminé dans la masse pyriteuse.

Ne tenant compte que des éléments prédominants, on pourrait représenter la composition de ce minerai par 49 à 50 p. 100 de soufre, 43 à 44 de fer, 3 à 4 de cuivre et 2 à 3 de sable, quartz ou argile.

On a trouvé dans quelques mines et particulièrement dans les salebandes du filon sud de Tharsis, de très-belles veines de sulfure de cuivre noir; mais ce sont là des exceptions assez rares jusqu'ici.

Examinons les caractères de ces amas à l'intérieur!

Si l'on coupe le gîte par un plan vertical, on rencontre ordinairement une première épaisseur de 5, 10, 15 mètres de terres ferrugineuses, plus ou moins meubles, résultat évident de la décomposition des pyrites sous les influences atmosphériques. Quelquefois aussi, ce sont des crêtes quartzo-ferrugineuses; sous cette espèce de chapeau de fer, la pyrite se montre alors en masse homogène blanche ou d'un gris jaunâtre. Certaines zones paraissent noires.

Dans la région voisine du chapeau de fer, la masse est fissurée, fendillée; en même temps, elle présente une apparence de stratification parallèle aux salebandes. Enfin, toujours dans la région supérieure, entre les bancs de pyrite dure et solide, on voit des amas ou des zones de minerai menu, pulvérulent, véritable schlich naturel.

Plus bas, et à mesure qu'on descend davantage, l'aspect du minerai est plus uniforme; toujours massif, mais plus compacte, il devient plus solide et plus dur; d'un abattage difficile par sa dureté, il exige moins d'ouvrages de soutènement, et on a pu quelquefois y pratiquer, sans consolidation artificielle, des voûtes souterraines très-étendues.

J'ai dit que la pyrite massive occupait toute la puissance du gîte; dans la plupart des cas, il en est, en effet, ainsi. On ne trouve que quelques coupures de la masse pyriteuse par des veines toujours peu épaisses des mêmes argiles blanches qu'aux salebandes. Quelquefois aussi, mais beaucoup plus rarement, des bancs

discontinus de jaspes ou de schistes argileux silicifiés sont intercalés dans la masse. Ces derniers faits se présentent le plus ordinairement dans le voisinage des salebandes.

Variations de puissance et de richesse.

Jusqu'ici les travaux repris sur la plupart de ces gîtes sont encore trop peu avancés pour qu'on puisse dire rien de général sur leurs variations de puissance et de richesse.

Pourtant, dans quelques-unes de ces mines déjà, on a cru observer une tendance au rétrécissement à une profondeur variable avec l'importance des amas. Il serait possible, d'après cela, que la forme lenticulaire se reproduisît suivant la verticale comme suivant l'horizontale.

Comparaison avec les mines du Rammelsberg, de Fahlun, d'Agordo (haute Vénétie).

Ce serait un trait de ressemblance à ajouter à tous ceux que présentent déjà ces gîtes avec les amas classiques du *Rammelsberg*, de *Fahlun*, d'*Agordo* (*haute Vénétie*).

D'un autre côté, la matière cuivreuse ne paraît pas être disséminée uniformément dans toute la masse du minerai. J'ai observé à *Rio-Tinto*, à *San Miguel*, à *Calañas*, etc., que les travaux anciens qui, sans doute, devaient rechercher les minerais les plus riches, étaient plus particulièrement concentrés vers l'éponte nord, c'est-à-dire au toit des gîtes. Quelquefois aussi, comme cela semble se produire à Tharsis, le minerai s'enrichit en s'approchant des deux salebandes. Ces faits ont besoin d'être suivis plus longtemps pour qu'on puisse les ériger en loi générale; mais ils n'ont rien qui doive surprendre, car on sait qu'au Rammelsberg, le toit et le mur sont très-diversement riches, qu'à Fahlun, d'après M. Durocher, les *skölar* ou bandes de roches chloriteuses, qui limitent le gîte, semblent avoir exercé une attraction sur le minerai riche, la masse centrale étant

généralement plus pauvre que celle qui avoisine les parois. Enfin, si on jette les yeux sur la Pl. VII, *fig.* 13, on voit que les parties pauvres ou moyennement riches sont surtout vers le centre de la masse de Rio-Tinto, et comme enveloppées par les parties de minerai riche. Cette figure, extraite du travail de MM. Anciola et Cosio, représente le troisième niveau des exploitations actuelles de ces mines.

Etendue occupée par la formation pyrito-cuivreuse.

Les gîtes importants aujourd'hui exploités sont dans la partie centrale de la province de Huelva; mais, sans nul doute, tous les amas de cette nature ne sont pas encore découverts. Vers le sud, c'est-à-dire dans la région la plus voisine de la mer, et par conséquent la mieux placée sous tous les rapports quant à l'avenir des exploitations, vers le sud, dis-je, il n'y a peut-être pas grandes chances de découvertes nouvelles, vu la proximité de l'Océan et des terrains tertiaires; mais au nord et à l'ouest, il est permis de supposer qu'une formation si puissante se continue et que ses prolongements seront tôt ou tard reconnus.

Dans le nord, la mine exploitée par M. Domine à Cala me semble appartenir au même ensemble, quoique son isolement et quelques très-légères différences dans la nature, particulièrement aux affleurements, la distinguent un peu des autres gîtes.

N'ayant pas dépassé la frontière de Portugal, je ne puis pas parler *de visu* des terrains et des gisements qui s'y trouvent; mais si j'en crois les renseignements qui m'ont été donnés et les quelques notes publiées sur ce sujet par la *Revista Minera* de Madrid, la formation pyrito-cuivreuse se retrouverait dans la province d'*Alentejo*, auprès de *Serpa*, à la *Corte del Pinto*, etc., même jusqu'à *Grandola*, au sud de Lisbonne, sur le littoral même de l'Océan.

Cet ensemble occuperait ainsi une étendue de 25 à 30 lieues en direction.

IV. FORMATION PLOMBEUSE DE LINARÈS.

Le groupe des gisements plombeux de Linarès a son centre sur un plateau qui domine au nord la petite ville de ce nom. Cette formation paraît s'étendre sur la plus grande pertie de l'espace compris entre *Linarès*, *Baylen*, *Guarroman*, *Carboneros*, la *Carolina* et *Vilchès*. Situation des gisements.

Le plateau de Linarès, en particulier, se compose de couches sensiblement horizontales ou inclinant légèrement à l'est, d'un grès quartzo-ferrugineux rouge à grains fins ou moyens, directement superposé au granite. Nature géologique du terrain encaissant.

La puissance de ces couches est assez faible; en les suivant sur les bordures ouest et nord-ouest du plateau, on fixerait cette épaisseur à 8 ou 10 mètres : c'est aussi l'épaisseur traversée par les divers puits d'exploitation.

Ces grès ne sont recouverts d'aucune autre formation sur toute l'étendue du plateau; mais, vers l'est, ils disparaîtraient, si j'en crois les renseignements que m'a donnés M. Eusebio Sanchez, directeur des mines de l'État à Linarès, ils disparaîtraient, dis-je, à stratification concordante sous des couches qui appartiennent au trias. D'après cela, comme je le remarquais dans l'introduction, les étages triassiques pénètrent donc comme les terrains tertiaires eux-mêmes dans l'Andalousie par les cols qui séparent la *Sierra-Morena* et la *Sierra-Segura*. De plus, les mêmes grès se retrouvant aux environs sud de Baylen, il est très-probable que le trias est plus développé dans le nord de l'Andalousie qu'on ne l'avait supposé jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, ces grès sont donc, aux environs de Linarès, superposés au granite : nous allons voir que les filons plombeux traversent à la fois granite et grès, c'est un fait qui peut servir plus tard au classement réciproque des filons et des grès.

Deux classes principales de gîtes plombeux aux environs de Linarès.

Sans vouloir classer d'une manière définitive les divers gîtes plombeux qui se voient aux environs de Linarès, on peut cependant les distinguer en deux groupes assez différents :

1° *L'un*, de beaucoup le plus important, comprenant un très-grand nombre de filons très-rapprochés les uns des autres et dirigés tantôt du nord-est au sud-ouest, tantôt de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest ;

2° Le second, comprenant des filons plus puissants, mais moins nombreux et d'une nature plus compliquée, dont la direction se rapproche en général de la ligne est-ouest.

Les premiers filons forment, à proprement parler, le district plombeux de Linarès ; c'est de ce groupe que je parlerai avec quelques détails. Les gîtes de la seconde classe affleurent dans les schistes des contre-forts de la Sierra-Morena, aux environs de la Carolina surtout. Ils tiennent, avec une gangue quartzo-barytique, des pyrites de fer et de cuivre associées à de la galène plus ou moins argentifère. Puissants d'un, deux ou plusieurs mètres, ils forment au-dessus des schistes des crêtes déchiquetées, par suite de la dureté de la roche composante. Le minerai, à l'intérieur, s'y montre généralement disséminé ou en veines et veinules, mais non en amas massifs d'une certaine importance.

Filons exploités sur le plateau même de Linarès.

Les filons du second groupe ne se montrent pas seulement sur le plateau de Linarès. Ils paraissent y avoir été travaillés, surtout par les anciens, plus que partout ailleurs ; mais plusieurs des lignes d'affleurements peu-

vent être suivies depuis le plateau jusqu'aux environs de Vilchès, à travers le granite et les schistes siluriens. Reprises avec une certaine ardeur depuis huit ou dix ans, les exploitations se sont surtout concentrées sur le plateau, c'est-à-dire là où les anciens travaux étaient les plus considérables. C'est donc là aussi qu'il est possible aujourd'hui d'étudier les caractères des gîtes.

Dans l'état actuel, ce n'est que par les lignes de haldes anciennes qu'on peut suivre les filons à la surface. Pourtant, dans les concessions d'*Arrayanes* et de *La Cruz*, j'ai observé assez nettement sur un ou deux points, à travers les grès, des veines plus ou moins puissantes (de $0^m,10$ à $0^m,50$) de quartz ferrugineux, avec quelques grains de galène. On rencontre aussi çà et là quelques crêtes à peu près verticales; mais peu prononcées ou peu élevées au-dessus des grès. En tous cas, il faut descendre quelques mètres sous le jour pour trouver la galène et voir le filon bien accusé. A une très-faible profondeur sous le jour, la plupart de ces filons se montrent composés de galène peu argentifère, de carbonates de chaux, de fer et de plomb, de pyrites de fer, de blende, avec quelques mouches de cuivre pyriteux et une gangue quartzeuse, beaucoup plus rarement barytique. Dans plusieurs de ces filons, le carbonate de plomb ne s'est pas montré à la surface seulement; mais on l'a rencontré à des profondeurs de 60 et 80 mètres. Caractères généraux de ces gîtes.

Les veines composées des minéraux ou minerais sus-indiqués descendent sous les grès et à travers le granite, où elles constituent le filon avec des puissances fort variables.

Il est assez rare aux profondeurs actuelles, 100 à 160 mètres, que le filon se perde en descendant: les colonnes minérales présentent même assez de constance

suivant la verticale, et comme puissance et comme richesse. Il n'en est pas de même suivant la direction : la puissance passe souvent de 10, 15 centimètres à 2, 3 mètres et plus; la richesse varie fréquemment aussi dans les mêmes proportions, la puissance de quelques décimètres étant à peu près stérile et celle de 2 à 3 mètres occupée parfois par de la galène pure et massive.

Un autre caractère de ces filons, c'est leur ramification fréquente, surtout dans le sens de la direction. On retrouve presque toujours les points de jonction après de courts allongements; c'est sur les centres de bifurcations pareilles que l'on trouve ces amas énormes de galène massive.

Nature du minerai.

La galène est le minerai à peu près exclusif de ces gisements; en veines ou en masses lenticulaires, avec une texture cristalline à grandes facettes d'un bleu foncé, elle est peu ou point argentifère. Les plombs d'œuvre qu'on en tire par le traitement au réverbère espagnol tiennent de 40 à 70 grammes d'argent au quintal métrique; on les patinsonne sur place.

Sur quelques filons, comme ceux de La Crux et d'Arrayanes, où la profondeur atteinte est la plus considérable, on a cru observer que la blende augmentait avec la profondeur.

En un seul point, à l'extrémité nord-est du filon de La Crux, on a touché en profondeur des veines assez importantes de pyrite cuivreuse; mais il n'était pas encore possible, lors de mon passage à Linarès, de décider si ces veines appartenaient aux filons plombeux exploités par les compagnies de *La Crux* et de *Pozo-ancho*. Peut-être trouvera-t-on là un exemple des relations d'âge et de position qui existent entre les filons exclusivement plombeux de Linarès et les gîtes cuivreux des environs de *Baylen* et de la *Carolina.*

On a signalé un certain nombre de filons croiseurs stériles, notamment dans les concessions de *La Crux*, *Pozo-ancho* et *Alamillos*; ils seraient dirigés est-ouest ou est-sud-est, ouest-nord-ouest; mais leur allure et leur influence sur les filons plombeux sont loin d'être étudiées aujourd'hui. **Croiseurs des filons plombeux.**

Il est assez difficile d'énumérer le nombre des filons qui affleurent sur le plateau de Linarès; cependant on compte au moins 40 ou 45 lignes de haldes anciennes sur la distance des 7 ou 8 kilomètres qui séparent *Linarès* de *Guarroman*. **Nombre des affleurements sur le plateau de Linarès.**

Les diverses exploitations reprises sur ces filons prouvent, par les premiers résultats obtenus, qu'il y a là un district plombeux des plus importants qui n'attend, pour recevoir le développement considérable dont il est susceptible, que la réalisation des projets de grandes communications absolument indispensables à ses approvisionnements et à ses écoulements.

Comme exemple de l'importance des filons de Linarès et des travaux qu'y ont faits les anciens, j'ajouterai quelques mots sur le filon réputé aujourd'hui le plus considérable, c'est-à-dire celui d'*Arrayanes*. **Exemple du filon d'Arrayanes.**

Exploité déjà avec une certaine activité par les anciens, ce gîte, dont l'État espagnol s'est réservé la propriété, a été travaillé sans interruption notable depuis le milieu du dernier siècle jusqu'aujourd'hui. La plupart des points attaqués sont maintenant inaccessibles; mais les plans et documents officiels conservés à l'administration des mines de l'État permettent toutefois d'apprécier quelle a pu être la puissance moyenne du filon.

Les travaux, tant anciens que modernes, y occupent une longueur presque continue de 3.500 à 3.800 mètres et atteignent une profondeur moyenne de 125 à 130 mètres. Or, de 1749 ou 1750 à 1852, on a extrait

une somme totale de 2,089,067 quintaux métriques de minerai à 70 ou 72 p. 100 de plomb; mais avant 1750 on avait déjà pratiqué une partie notable des abattages et enlevé une quantité importante de minerai; en outre, à toutes les époques, on en a abandonné tantôt à l'intérieur, tantôt à l'extérieur, sous forme de menu qu'on ne savait ou ne voulait pas soumettre à la préparation mécanique et dont on commence aujourd'hui à tirer bon parti. D'après cela, si on calcule la puissance réduite en minerai de fusion, c'est-à-dire à 70 ou 72 p. 100 de plomb, on trouve que, sur une longueur de 3 à 4 kilomètres, elle a dû être au minimum de $0^m,10$ à $0^m,15$.

Le filon d'Arrayanes n'est certainement pas épuisé, et si l'on s'est arrêté dans l'approfondissement des travaux, c'est faute de moyens suffisants d'épuisement.

Il y a tout lieu de croire que des installations de machines comme celles qui ont été faites par des compagnies françaises et anglaises sur plusieurs filons voisins, permettraient de reprendre avec profit l'exploitation de ce gîte si étendu.

COMPTE RENDU

DES TRAVAUX DU LABORATOIRE DU SERVICE DES MINES DE LA PROVINCE D'ALGER, PENDANT L'ANNÉE 1856,

Par M. VILLE, ingénieur des mines.

§ I. *Recherches sur les vins, et notamment sur les substances minérales qu'ils renferment, soit naturellement, soit par suite d'une falsification.*

Les vins renferment ordinairement les bases minérales suivantes :

Potasse, soude, chaux, magnésie, peroxyde de fer, alumine ;

Et les acides minéraux suivants :

Acides phosphorique, sulfurique, chlorhydrique, silicique ;

On y trouve, en outre, des acides végétaux, parmi lesquels on peut citer les acides tartrique, acétique, pectique, soit libres, soit combinés; plusieurs matières azotées, des matières colorantes, des matières grasses et des huiles essentielles.

Par l'incinération, les matières organiques se décomposent en donnant un résidu de charbon, et il se produit, entre autres matières gazeuses, de l'acide carbonique dont une partie se fixe dans les cendres du vin. Ces cendres peuvent être considérées comme un mélange de : chaux, magnésie, peroxyde de fer et alumine à l'état anhydre, et de carbonates, sulfates, chlorures, silicates et phosphates alcalins et terreux. Elles peuvent contenir en outre de faibles quantités de cuivre, de plomb et d'étain provenant des vases qui ont servi à la manipulation des vins.

On procède de la manière suivante à l'incinération d'un vin : Incinération des vins.

On évapore 600 grammes de vin dans une grande capsule de porcelaine jusqu'à consistance sirupeuse. On fait passer ensuite la matière dans une capsule de platine de $0^{m},10$ de diamètre environ. On continue l'évaporation à une douce chaleur, jusqu'à ce que la matière commence à se boursoufler; on donne alors un coup de feu au moyen d'une lampe à alcool à double courant d'air. Les tartrates et les autres matières organiques du vin brûlent en donnant une flamme blanche, longue et fu-

ligineuse, et il reste un mélange de charbon et de carbonates. Pendant cette combustion, la matière contenue dans la capsule se boursoufle et se transforme en une espèce de gâteau noir à éclat métallique. Dès que la flamme provenant de la combustion des tartrates a disparu, on retire la capsule du feu et on écrase le résidu dans la capsule même avec le pilon d'un mortier d'agate. On étend la matière broyée en couche mince dans le fond de la capsule qu'on reporte sur la lampe à alcool, et l'on calcine au rouge pendant une heure environ. Au bout de ce temps, le charbon est à peu près complétement brûlé, et il s'est formé entre les sels minéraux diverses décompositions réciproques. On trouve toujours dans les cendres une faible proportion de platine, lorsque l'incinération a été faite dans une capsule de ce métal. On éviterait cet inconvénient en incinérant le vin dans une petite capsule de porcelaine placée dans la mouffle d'un fourneau de coupelle; mais alors on introduirait de la silice dans les cendres du vin. Aussi vaut-il mieux encore incinérer dans une capsule de platine.

Réactions qui se passent pendant l'incinération des vins.

Les réactions qui se passent pendant l'incinération des vins sont complexes. Les tartrates et autres sels à acides organiques se transforment en carbonates; et comme le carbonate de potasse est le sel qui domine, il réagit sur la plupart des autres sels contenus dans les cendres et produit une série de doubles décompositions. Ainsi, l'action du carbonate de potasse sur les phosphates terreux produit du phosphate de potasse et des carbonates terreux; mais l'action n'est pas complète et les phosphates terreux ne sont pas décomposés en entier.

L'action du carbonate alcalin sur les sulfates terreux produit du sulfate de potasse et des carbonates terreux. Cette action est également incomplète.

Les carbonates terreux peuvent être transformés en partie en terres caustiques par la calcination.

L'action de la silice sur le carbonate de potasse et l'alumine donne du silicate de potasse soluble dans l'eau et du silico-aluminate de potasse insoluble dans l'eau.

Une petite quantité de carbonate de potasse est décomposée par le charbon, produit de la potasse anhydre et par suite du peroxyde de potassium. En effet, en ajoutant une petite quantité d'eau sur les cendres, la liqueur prend une teinte bleu verdâtre qui disparait en ajoutant une plus grande quantité d'eau. Cette couleur ne peut être attribuée à la présence d'un

sel de cuivre contenu primitivement dans le vin. Ce sel, par double décomposition avec le carbonate de potasse ou même par la simple calcination au rouge, s'il contenait un acide organique, aurait donné du carbonate de cuivre et par suite de l'oxyde de cuivre et même du cuivre métallique, à cause de la présence du charbon. Ainsi, le cuivre ne peut communiquer à l'eau la couleur bleu-verdâtre signalée plus haut. Cette couleur ne peut être attribuée qu'à la décomposition d'une petite quantité de carbonate de potasse par le charbon, à la faveur de la haute température nécessaire pour l'incinération du vin. Il en est résulté de la potasse caustique et par suite du peroxyde de potassium, qui se dissout dans l'eau en lui donnant la couleur bleu-verdâtre dont il s'agit. Le peroxyde de potassium se transforme presque immédiatement dans l'eau, d'abord en hydrate et puis en carbonate de potasse. Cette réaction explique la présence du platine dans les cendres du vin. On sait, en effet, que la potasse fondue dans un creuset de platine attaque et dissout ce dernier à l'état de platinate de potasse, et que, pour ce motif, les attaques à la potasse se font dans un creuset d'argent.

Présence du platine dans les cendres d'un vin lorque l'incinération a été faite dans une capsule de platine.

Cette action des cendres du vin sur la capsule de platine est au reste un fait incontestable. Si la capsule était bien propre et d'une couleur uniforme avant l'incinération, elle présente après l'incinération des taches brunes provenant de l'attaque du platine. La quantité de platine ainsi introduite dans les cendres du vin est assez faible; nous l'avons trouvée de 1 milligramme environ en opérant sur 500 grammes de vin.

On doit donc tenir compte de ce fait dans l'examen des falsifications que peuvent avoir subies des vins saisis par la justice.

Il arrive parfois que les vins renferment de l'oxyde d'étain fourni sans doute par les appareils qui ont servi à la manipulation des vins ou des alcools servant au vinage. Pendant l'incinération, cet oxyde d'étain pourra former avec la potasse du stannate de potasse soluble dans l'eau.

Composition général. des cendres solubles dans l'eau.

En reprenant les cendres du vin par l'eau, on trouvera dans la solution aqueuse :

1° Des phosphates, des sulfates, des carbonates, des chlorures et des silicates alcalins;

2° Une très-petite quantité de platine à l'état de platinate de potasse, et provenant de la capsule de platine où s'est faite l'incinération;

3° Des traces d'étain à l'état de stannate de potasse.

Composition générale des cendres insolubles dans l'eau.

On trouvera dans les cendres insolubles dans l'eau :

1° De la silice et de la potasse combinées sans doute à l'état de silico-aluminate de potasse en très-petite quantité ;

2° Des oxydes de plomb, de cuivre, d'étain et de platine ; ce dernier provient de la capsule de platine et se trouve en très-petite quantité ;

3° Du peroxyde de fer, de l'alumine et des phosphates terreux ;

4° De la magnésie libre, du carbonate et du sulfate de chaux.

On verra plus bas que, pour les vins naturels et pour ceux qui n'ont pas été fraudés par une addition considérable de sulfate terreux soluble, l'acide sulfurique peut être recherché soit dans les cendres, soit dans le vin lui-même ; en opérant avec toutes les précautions nécessaires, on trouve les mêmes quantités dans les deux cas.

Le dosage du chlore peut se faire également soit dans les cendres, soit directement dans le vin lui-même. On trouve des résultats identiques par les deux méthodes ; et pour éviter une incinération de 500 grammes de vin, il est plus court de rechercher le chlore dans le vin lui-même.

Quand on incinère le vin et qu'on reprend les cendres par l'eau, le chlore passe en entier dans les sels solubles. Nous nous sommes assuré qu'il ne restait pas de chlore à l'état d'oxichlorure dans les cendres insolubles dans l'eau.

Analyse complète des cendres d'un vin d'Espagne.

L'analyse faite par la méthode Fresénius sur les cendres de 500 grammes de vin rouge de provenance espagnole a donné les résultats suivants :

		Pour 500 gr.	Pour 1.000 gr.
Peroyde de fer.		0,0110	0,0220
Alumine.		0,0080	0,0160
Chaux.		0,0549	0,1098
Magnesie.		0,0989	0,1978
Potasse.		0,9750	1,9500
Soude.		0 0366	0,0732
Oxyde de plomb.		0,0018	0,0036
Oxyde d'etain.		traces	traces
Oxyde de cuivre.		traces	traces
Silice.		0,0215	0,0430
Acide phosphorique.		0,0600	0,1200
Acide sulfurique.		0,1569	0,3138
Acide chlorhydrique.		0,0595	0,1190
		1,4841	2,9682
Acide carbonique des cendres solubles dans l'eau.	0.3499	0,3694	0,7388
Acide carbonique des cendres insolubles dans l'eau	0,0195		
Total des sels.		1,8535	3,7070

Le fer, l'alumine et l'acide phosphorique ont été dosés au moyen de l'acide sulfurique, du sulfate d'ammoniaque et de l'alcool par le procédé Berzélius.

Il n'est pas possible de remonter de l'analyse des cendres d'un vin à la composition primitive du vin qui les a fournies, sans faire une série d'hypothèses plus ou moins contestables. Quoi qu'il en soit, on peut déduire de l'analyse de ces cendres que les vins renferment des quantités de matières salines bien plu sconsidérables que les eaux potables de bonne qualité.

Les sels contenus dans les eaux courantes sont généralement des carbonates, des chlorures et des sulfates alcalins et terreux, et parfois des phosphates en minimes proportions, le tout mélangé d'une certaine quantité de silice gélatineuse libre.

Dans les vins, on trouve de la silice gélatineuse, des sels à acides organiques divers, des chlorures, des sulfates et des phosphates alcalins et terreux. Ainsi, les carbonates des eaux sont remplacés, dans les vins, par des sels à acides organiques qui se transforment eux-mêmes en carbonates par l'acte de l'incinération. Aussi peut-on dire que les cendres des vins et celles des eaux se composent généralement des mêmes substances salines, mais en proportions différentes.

Recherches sur la manière de reconnaître la falsification des vins par une addition de sulfates divers.

Nous exposerons maintenant nos recherches sur la manière de reconnaître la falsification des vins par une addition de sulfates divers.

Nous avons examiné d'abord si, dans l'acte de l'incinération du vin, une portion de l'acide sulfurique ne se dégage pas.

A cet effet, nous avons exécuté les expériences suivantes :

On a opéré généralement sur 200 grammes de vin, dans lesquels on a ajouté $2^{g},40$ de sulfates solubles divers, soit 2 grammes par kil. de vin. Le vin a été inciné dans la capsule de platine. Les cendres ont été reprises par l'eau, et on a précipité la solution par du chlorure de barium acidifié avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique. On a obtenu ainsi un poids de sulfate de baryte, d'où l'on a déduit par le calcul l'acide sulfurique restant dans les cendres de vin falsifié.

Dans une deuxième série d'expériences, on a opéré sur 200 grammes de vin pur sans addition de sulfates étrangers, et l'on a recherché l'acide sulfurique contenu tantôt dans les cendres, tantôt dans le vin lui-même.

Dans une troisième série d'expériences, on a recherché l'a-



cide sulfurique contenu dans le sulfate qu'on ajoutait au vin.

On a résumé dans le tableau suivant les divers nombres ainsi obtenus.

Désignation des vins.		Sulfate de baryte.	Acide sulfurique.
Vin (*a*).			
200 gr. de vin pur additionnes de 0g,40 de sulfate de protoxyde de fer cristallisé, ont donné après incinération.	gr.	gr. 0,552	gr. 0,1897
200 gr. de vin pur incinerés ont donné, sulfate de baryte.	0,193		
0,40 de sulfate de fer ont donne, sulf. de bar. .	0,336	0,529	0,1818
(II) Vin (*a*).			
200 gr. de vin pnr additionnés de 0g,40 d'alun du commerce, ont donné après incinératiou.		0,614	0,2110
200 gr. de vin pur incinérés ont donné, sulfate de baryte	0,193		
0g,40 d alun ont donne, sulfate de baryte. . .	0.410	0,603	0,2070
(III) Vin (*a*).			
200 gr. de vin pur additionnés de 0g,40 de sulfate de zinc cristallisé, ont donne après incinération.		0,532	0,1828
200 gr. de vin pur incinéres, ont donné, sulfate de baryte	0,193		
0g,40 de sulfate de zinc ont donné, sulf. de b. .	0,304	0,497	0,1708
(IV) Vin (*a*).			
200 gr. de vin pur additionnés de 0g,40 de sulfate de chaux cristallise ont donné après l'incineration.		0,638	0,2398
200 gr. de vin pur incinérés ont donné, sulfate de baryte.	0,193		
0g,40 de sulfate de chaux ont donné, sulf. de b.	0,529	0,722	0,2482
(V) Vin (*b*)			
200 gr. de vin pur additionnés de 0g,40 de sulfate de magnesie cristallisé, ont donné après l'incinération		0,589	0,1852
200 grammes de vin pur non incinérés, ont donné, sulfate de baryte.	0,159		
0g,40 de sulfate de magnésie, ont donné, s. de b.	0,381	0,540	0,1855
(VI) Vin (*c*).			
250 gr. de vin pur additionnés de 0g,250 de sulfate de fer cristallisé, ont donné directement, sans incinération préalable.		0,524	0,1801
250 gr. de vin pur incinerés, ont donné, sulfate de baryte. . , ...	0,314		
0g,850 de sulfate de fer cristallisé, ont donné, sulfate de baryte.	0,210	0,524	0,1801

On a été obligé d'opérer sur des vins différents *a*, *b*, *c*, faute de quantités suffisantes pour faire toutes les expériences sur le même vin.

Les expériences qui précèdent montrent que la proportion d'acide sulfurique qui reste dans les cendres de 1 kil. de vin additionné de 2 grammes de sulfates divers (terreux et métalliques) est égale à la somme de l'acide sulfurique contenu dans le vin pur, et de l'acide sulfurique contenu dans le sulfate ajouté au vin. Il y a des différences tantôt en plus, tantôt en moins, qui doivent être attribuées aux erreurs d'analyse qu'il est difficile d'éviter dans le dosage du sulfate de baryte. Nos expériences prouvent que, dans l'acte de l'incinération, il se forme une double décomposition entre les sulfates terreux ou métalliques d'une part, et d'autre part les sels alcalins contenant soit un acide organique non décomposé d'une manière complète, soit l'acide carbonique qui reste après la combustion complète de cet acide organique. Si cette double décomposition ne s'était pas produite, les sulfates de fer, d'alumine et de zinc auraient perdu leur acide sulfurique par suite de l'action de la chaleur. Quant aux sulfates de magnésie et de chaux qui résistent à la décomposition par la chaleur, on sait qu'ils sont décomposés à chaud par l'action du carbonate alcalin et que leur acide sulfurique se porte sur les alcalis. Nos expériences prouvent que, dans l'incinération des vins, cette double décomposition se produit encore, malgré la présence du charbon. Tant que les carbonates alcalins seront en suffisante quantité pour donner lieu à ces doubles décompositions, il n'y aura pas de perte en acide sulfurique dans l'incinération des vins. Dans le cas contraire, ils n'en fixeront qu'une partie. Les chlorures alcalins des cendres en fixeront aussi une certaine quantité, en donnant lieu à un dégagement de chlore; et le reste de l'acide sulfurique se dissipera dans l'air, soit à l'état d'acide anhydre, soit en se décomposant en acide sulfureux et oxygène. Dans les vins qui n'ont pas été falsifiés, la proportion d'acide sulfurique qu'ils renferment est de beaucoup inférieure à celle qui est nécessaire pour saturer les carbonates alcalins provenant de la décomposition des tartrates ou autres sels organiques. Dès lors, on n'a pas à craindre de dégagements d'acide sulfurique pendant l'incinération des vins, et cet acide peut être recherché soit dans les cendres, soit dans le vin lui-même.

Ces observations ont de l'importance au point de vue de la recherche de la falsification des vins par l'introduction de sulfates métalliques. En effet, si l'on trouvait dans les cendres une

proportion d'acide sulfurique moins forte que dans le vin lui-même, on pourrait supposer que ce vin a été falsifié par une addition de sulfate.

Les vins rouges très-chargés en couleur se troublent par une addition d'eau, et il peut arriver qu'on ajoute du sulfate de fer pour les clarifier. Afin de nous rendre compte des phénomènes qui se passent dans cette falsification, nous avons fait les recherches suivantes :

Un litre de vin rouge d'Espagne a éte additionné d'un quart de litre d'eau, ce qui a produit un certain trouble. On a ajouté dans le mélange 1 gramme de sulfate de protoxyde de fer cristallisé. On a placé le tout dans un flacon à moitié plein et bien bouché, afin d'empêcher le renouvellement de l'air. Un mois et demi après, on a examiné comparativement le vin falsifié et le vin pur placé dans des conditions identiques, c'est-à-dire dans un flacon à moitié plein et bien bouché. Il s'était déposé dans les deux vins une quantité notable dé tartre brut, mais bien plus dans le vin falsifié que dans le vin pur. On a décanté les deux liquides avec un siphon, afin d'opérer sur les vins liquides. Le vin falsifié était notablement plus clair que l'autre. Il était facile de s'en convaincre en plaçant le même volume de ces vins dans des flacons d'essai disposés contre une feuille de papier blanc.

Afin d'opérer sur des quantités correspondantes de vin, d'un côté on a pris $\frac{1}{4}$ de litre de vin pur, soit 250 centimètres cubes, et, de l'autre, $\frac{1}{4}\left(1+\frac{1}{4}\right)$ litres de vin falsifié, soit 312^{cc},50.

On a recherché l'acide sulfurique contenu dans les cendres des 250 centimètres cubes de vin pur en le précipitant, avec les précautions nécessaires, à l'état de sulfate de baryte.

On a remarqué, pendant l'évaporation du vin, que le dépôt se formant dans le fond de la capsule était d'un beau rouge foncé. Les cendres, dont la couleur était d'un blanc légèrement jaunâtre, ont donné :

Sulfate de baryte.	0,314
Contenant : acide sulfurique.	0,1079

On a recherché ensuite directement l'acide sulfurique contenu dans 312^{cc},50 de vin falsifié. On a obtenu :

Sulfate de baryte.	0,524
Contenant : acide sulfurique. . . .	0,1801

Or, dans 250 centi. cubes de vin pur il y a acide sulfurique.	0gr1079
Dans 1/4 de gramme de sulfate de fer, il y acide sulfurique.	0,0722
Ensemble.	0,1801

Ainsi, l'acide sulfurique contenu dans le vin falsifié est la somme de l'acide sulfurique ajouté dans le vin pur et de celui qu'il contenait primitivement. On voit par là que tout l'acide sulfurique ajouté frauduleusement en dissolution dans le vin y reste et ne se précipite pas, même après un mois et demi, à l'état de sel insoluble qui serait contenu dans le dépôt de tartre brut.

312cc,50 de vin frelaté ont été incinérés à part pour la recherche de l'acide sulfurique et du fer. Le dépôt se formant successivement dans la capsule était noirâtre, ce qui indiquait *à priori* une quantité de fer plus considérable que dans le vin pur. Après l'incinération complète, le résidu avait une couleur de rouille très-prononcée, ce qui n'est pas arrivé pour les cendres du vin pur.

Le résidu a été repris par l'eau distillée. Les sels insolubles fortement colorés en rouille ont pesé 0gr,165, soit 0gr,660 par litre.

La solution aqueuse aiguisée par quelques gouttes d'acide chlorhydrique a donné par le chlorure du barium :

	gr.
Sulfate de baryte.	0,506
Contenant acide sulfurique. . . .	0,1739

On a trouvé directement dans 312cc,50 de vin frelaté :

	gr.
Acide sulfurique.	0,1801
Différence.	0,0062

Cette différence peut être attribuée soit aux erreurs d'analyse qui sont presque inévitables dans le dosage de l'acide sulfurique, soit à une petite quantité de sulfate de chaux resté avec les sels insolubles dans l'eau.

Le peroxyde de fer a été dosé dans les cendres insolubles dans l'eau au moyen de l'acide sulfurique, du sulfate d'ammoniaque et de l'alcool. On a obtenu ainsi :

	gr.
Péroxyde de fer	0,069
Soit pour $\left(1-\frac{1}{4}\right)$ litres de vin frélaté.	0,276

On a recueilli sur un filtre tout le tartre déposé dans $\left(1+\frac{1}{4}\right)$ litre de vin frelaté. On l'a laissé égoutter et on l'a

calciné ensuite dans une capsule de platine. On a obtenu un résidu couleur de rouille pesant $0^{g},1545$ et contenant $0^{g},065$ de peroxyde de fer, qu'on a dosé par le procédé indiqué tout à l'heure.

La somme $0^{g},065 + 0^{g},276 = 0^{g},341$ sera la quantité totale de peroxyde de fer existant primitivement dans 1 litre de vin pur et dans 1 gramme de sulfate de fer. Or 1 gramme de ce dernier correspond à $0^{g},279$ de peroxyde de fer; par conséquent, 1 litre de vin pur renfermait :

Peroxyde de fer. . . . . . . $0^{g},063 = 0^{g},341 - 0^{g},279$.

Un accident nous a empêché de doser directement le peroxyde de fer contenu dans le vin primitif, et nous avons dû le rechercher ainsi d'une manière indirecte.

$\left(1 + \frac{1}{4}\right)$ litre de vin frelaté renfermant $0^{g},276$ de peroxyde de fer, si on en retranche les $0^{g},062$ qui existaient primitivement dans le vin pur, la différence $0^{g},214$ exprimera le peroxyde de fer que la falsification aura introduite dans le vin, après un mois et demi de réaction entre les éléments du vin et le sulfate de fer ajouté; $0^{g},065$ de peroxyde de fer venant du sulfate ajouté se sont précipités dans les lies.

Quant à l'acide sulfurique ajouté à l'état de sulfate de fer, il n'a pas subi la même loi de partage que le peroxyde de fer; il est resté tout entier en dissolution dans le vin.

$312^{cc},50$ du vin frelaté examiné ci-dessus ont été séparés de leur dépôt de tartre et abandonnés pendant trois jours dans un flacon ouvert, où l'air pouvait pénétrer librement. Il s'est formé un nouveau dépôt de tartre que l'on a séparé par filtration, égoutté et incinéré. Ce tartre calciné pesait $0^{g},0705$; il contenait $0^{g},045$ de peroxyde de fer. Or la liqueur primitive contenait $0^{g},069$ de peroxyde de fer avant d'avoir été abandonnée à l'air libre. Il s'est donc déposé par l'action de l'air 65 p. 100 environ du peroxyde de fer contenu dans le vin.

Ainsi, quand on ajoute du sulfate de protoxyde de fer dans un vin troublé par une addition d'eau, si on laisse le tonneau ouvert de manière à permettre un accès facile à l'air extérieur, il se déposera dans les lies une quantité de sel de fer à acide organique (tannique?) d'autant plus considérable que le tonneau sera resté plus longtemps ouvert. Dès lors, si on veut rechercher par l'analyse l'oxyde de fer ajouté frauduleusement, il faut examiner non-seulement le vin lui-même, mais

encore les lies déposées dans le tonneau. Si le fraudeur avait bouché hermétiquement son tonneau après l'addition du sulfate de fer, l'on trouverait dans le vin clarifié une quantité d'oxyde de fer plus considérable que si l'accès de l'air avait été facilité. Connaissant *à priori* l'acide sulfurique contenu dans le vin étendu d'eau, il suffirait de déterminer par l'analyse l'acide sulfurique contenu dans le vin frelaté, et l'on aurait par différence l'acide sulfurique et par suite le sulfate de fer ajouté frauduleusement dans le vin étendu.

Dans l'analyse complète des cendres d'un vin donnée ci-dessus, on a trouvé pour 1 kil. de vin :

Peroxyde de fer. . . . . $0^{g},0110$

Dans le vin, différent du premier, et qui a servi aux recherches sur la falsification par le sulfate de fer et l'eau, on a trouvé pour 1 litre de vin :

Peroxyde de fer. . . . . $0^{g},062$

D'autres auteurs ont trouvé des proportions semblables d'oxyde de fer dans des vins de provenances différentes. Ils ont admis que ce fer existait naturellement dans les vins à l'état de tartrate neutre de peroxyde. Il nous est impossible de nous prononcer sur l'état réel de combinaison du fer dans les vins naturels. Nous dirons seulement qu'il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il y ait dans les vins de l'oxyde de fer en quantité notable. Le fer est un des éléments les plus répandus dans la nature; il se rencontre dans tous les terrains arables et dans presque toutes les roches. Dans notre mémoire intitulé : *Recherches sur les roches, les eaux et les gîtes minéraux des provinces d'Oran et d'Alger*, nous avons fait connaître un très-grand nombre d'analyses d'eaux potables qui contiennent de l'oxyde de fer en quantités appréciables. Il est donc naturel que les végétaux qui croissent dans des pays où le sol et les eaux sont plus ou moins chargés d'oxyde de fer, produisent des sucs chargés eux-mêmes de sels de fer. La vigne est sans doute dans ce cas, et c'est ce qui explique pourquoi l'on trouve du fer dans les vins.

Les diverses analyses de cendres de vin contenues dans ce travail montrent que l'acide sulfurique contenu dans le vin est en quantité bien plus considérable que celle qui est nécessaire pour former du sulfate de peroxyde de fer.

On ne peut dire *à priori* si, dans les vins purs, l'acide sul-

furique est combiné à l'état de sulfates de potasse et de soude ou bien à l'état de sulfates de chaux, magnésie et fer. Quel que soit l'état réel de combinaison, l'on retrouvera toujours l'acide sulfurique dans les cendres solubles dans l'eau à l'état de sulfate alcalin.

Dans le midi de la France, on saupoudre de plâtre cuit et pulvérisé les raisins que l'on écrase pour en extraire le jus destiné à la préparation du vin. Il n'est pas impossible, dès lors, que les vins ainsi plâtrés renferment en dissolution une certaine quantité de sulfate de chaux. Un litre d'eau distillée peut dissoudre 3 grammes de plâtre hydraté ou bien 2g,373 de sulfate de chaux anhydre. La présence de l'alcool rend le plâtre moins soluble dans l'eau ; mais, d'un autre côté, la présence des sels alcalins augmente la solubilité du plâtre. On conçoit, dès lors, que les vins qui ont été plâtrés puissent renfermer du plâtre en dissolution, et, par suite, du sulfate de magnésie qui accompagne souvent le sulfate de chaux. Il se peut aussi que les vins non plâtrés renferment les mêmes éléments, parce que la vigne les aura puisés dans le sol pendant les phénomènes de la végétation.

Expertise de 48 bordelaises de vin d'Espagne.

Nous avons été chargé d'expertiser 48 bordelaises de vin d'Espagne que l'on supposait avoir été additionnées frauduleusement d'eau et de sulfate de fer du commerce contenant une petite quantité d'oxyde de cuivre. Nous avons fait cette expertise de concert avec MM. Lauras, pharmacien en chef de l'armée, directeur de la pharmacie centrale d'Alger, et Roche, professeur de chimie au lycée d'Alger.

Tous les fûts à examiner étaient hermétiquement fermés ; on a fait pour chacun d'eux une prise d'essai de 2 litres. Le premier litre a été retiré du fût sans que celui-ci fût remué. A cet effet, on a enlevé la bonde qui était scellée à la partie supérieure du fût, et on a retiré 1 litre de vin avec une sonde à main. Puis on a bouché le fût ; on l'a remué vivement afin de remettre autant que possible en suspension les matières qui auraient pu se déposer, et l'on a retiré ensuite 1 litre de vin trouble avec la sonde à main. Le vin clair a été destiné à la recherche du titre alcoolique et de la densité, et le vin trouble à toutes les autres recherches. Cette dernière précaution était indispensable, puisqu'on a vu que les lies de vin peuvent contenir une quantité plus ou moins considérable de l'oxyde de fer ajouté frauduleusement.

Les recherches nécessitées par l'expertise étant très-multipliées, on a dû simplifier autant que possible les méthodes d'analyse, et l'on s'est arrêté au procédé suivant proposé par M. Ville, et qui donne des résultats suffisamment exacts lorsqu'il est appliqué d'une manière convenable.

Titre alcoolique.

On recherche le titre alcoolique au moyen de l'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac. On opère sur 150 centimètres cubes et l'on arrête la distillation lorsqu'on a recueilli en alcool le tiers du volume primitif. On place alors successivement dans la burette contenant l'alcool : 1° le thermomètre centésimal ; 2° l'alcoomètre, et l'on note les indications de ces deux instruments. On en déduit le titre en alcool absolu pour le vin remué à la température de 15° au moyen de la formule de Francœur :

$$x = \frac{1}{3}\,(d \pm 0,4 \times t)$$

dans laquelle x indique la richesse alcoolique, d le nombre de degrés marqués par l'alcoomètre, t le degré de température compté à partir de 15° centigrades. On prend le signe — ou le signe +, suivant que la température à laquelle on opère est supérieure ou inférieure à 15°. Si l'on trouve, par exemple, 14 pour le titre alcoolique d'un vin, cela indique que sur 100 litres de vin ramené à la température de 15°, il y a 14 litres d'alcool absolu.

Le titre alcoolique des vins a varié en général de 12,50 à 14 p. 100. Un seul vin, le n° 11, se trouve au-dessous de la limite inférieure et n'a pour titre que 11,42. Le titre moyen de l'ensemble de tous les vins est de 13,10.

Les vins rouges d'Espagne contenant ordinairement de 13 à 14 p. 100 d'alcool, il nous paraît qu'on ne doit pas incriminer sous le rapport de la quantité d'alcool qu'ils renferment les vins soumis à notre expertise. On pourrait tout au plus supposer au premier abord que le titre du vin n° 11 est au-dessous du titre moyen, par suite d'une addition d'eau. Mais comme le poids total des cendres de ce vin est le maximum obtenu, cela rend très-peu probable l'hypothèse d'une falsification par addition d'eau.

Nous avons remarqué en distillant le vin à l'alambic de Gay-Lussac, que parfois l'alcool passait trouble. En évaporant à sec cet alcool, il est resté une matière verte, bleuissant par l'ammoniaque et formée d'acétate de cuivre. Ainsi, l'acide acétique contenu dans le vin et qui passe à la distillation en même temps que l'alcool, peut dissoudre une certaine quantité du cuivre

métallique formant l'appareil distillatoire. Ce fait est digne de remarque ; il indique que dans la recherche des oxydes métalliques contenus dans le vin, on ne doit jamais opérer sur le résidu laissé par la distillation de l'alcool, car autrement on s'exposerait à attribuer à une addition frauduleuse la présence d'un métal que l'analyste aurait introduit lui-même dans le vin soumis à son examen.

Densité. La densité des vins prise sur 10 échantillons a varié de 0,9928 à 0,9741, à la température de 24° centigrades; elle est, en moyenne, de 0,9934.

Ainsi, le litre de vin pèse 993^{g},40. On voit donc que l'on peut admettre sans erreur notable qu'il pèse 1 kil.

La densité est à peu près constante pour tous les vins, bien que le poids total des sels qu'ils renferment varie entre des limites assez étendues. Cette constance de la densité est due au grand volume d'alcool contenu dans tous les vins : cet alcool diminue assez notablement la densité des vins et rend peu sensibles les différences qui résulteraient d'un accroissement de matières salines.

Les autres recherches ont été faites sur les vins troubles, afin de doser en bloc tout le fer et le cuivre qu'on supposait avoir été ajoutés frauduleusement dans les fûts, et l'on a opéré en général sur 100 grammes de vin, afin d'aller plus vite.

On a déterminé successivement :

1° Le poids de l'extrait avant toute décomposition par le feu ;

2° Le poids de l'extrait après un commencement de décomposition par le feu ;

3° Le poids des cendres solubles dans l'eau ;

4° Le poids des cendres insolubles dans l'eau ;

5° Le poids total des cendres ;

6° Le plomb, le cuivre et l'étain qu'on a dosés ensemble à l'état d'oxysulfures ;

7° Le peroxyde de fer ;

8° L'acide sulfurique.

Extrait. Dans le tableau d'ensemble qui termine ce travail, on a décuplé tous ces dosages pour qu'ils s'y rapportent à 1 kil. de vin.

Pour obtenir l'extrait du vin, on évapore au bain de sable 100 grammes de vin contenus dans une capsule de porcelaine tarée. (On peut mener de front six à huit opérations de ce genre.) Lorsque la matière a acquis le degré de consistance

pilulaire, on la retire du feu et on la pèse avec la capsule, avant que celle-ci ne soit complétement refroidie. On évite ainsi les causes d'erreurs provenant de l'hygrométricité de la substance. Dans cet état, la matière organique du vin n'a pas encore subi de décomposition. Lorsque l'extrait du vin naturel est refroidi, il présente une couleur brun-rougeâtre; il est dur et cassant; son aspect peut fournir parfois de bonnes indications sur la falsification probable du vin. Ainsi, la présence du fer en quantité notable lui donne une couleur noire très-prononcée, due au tannate de fer qui s'est formé pendant l'évaporation. Avant de prendre le poids de l'extrait, on pourrait penser qu'il serait convenable de compléter la dessiccation de ce dernier en le plaçant sous une cloche de verre, au-dessus d'une capsule pleine d'acide sulfurique desséché, et en empêchant la communication entre l'intérieur de la cloche et l'air extérieur au moyen d'un bain de mercure. Cette dessiccation nous paraît inutile, parce que la quantité d'extrait fourni par des vins naturels oscille entre des limites très-éloignées, et que, dès lors, il importe peu de faire perdre à l'extrait 1 ou 2 décigrammes d'humidité, lorsque les limites extrêmes des extraits de vin naturel peuvent varier de 1 gramme environ et même davantage pour 100 grammes de vin. La dessiccation sur l'acide sulfurique exige plusieurs jours et entraîne une perte de temps considérable pour arriver à un résultat sans importance réelle.

Pour avoir une limite inférieure du poids de l'extrait obtenu ci-dessus, on reporte l'extrait sur le bain de sable et on continue l'évaporation jusqu'à ce qu'il y ait un commencement de décomposition indiqué par l'odeur de caramel et l'aspect carbonisé de la matière. On pèse de nouveau avant le refroidissement complet et l'on obtient ainsi une limite inférieure du poids de l'extrait, limite qu'il peut être bon de comparer au premier poids obtenu. On comprend, du reste, que le dosage de l'extrait n'est jamais qu'approximatif, parce que rien n'indique le point précis auquel l'évaporation doit être arrêtée pour avoir un produit de composition constante.

Le poids de l'extrait, pour 1 kil. des vins analysés, a varié de $19^{g},79$ vin n° 11, à $30^{g},90$ vin n° 28. Il est en moyenne de $24^{g},689$. Les poids divers que nous avons obtenus ne diffèrent pas d'une manière bien notable de ceux qui sont indiqués par M. Filhol pour les vins de Bordeaux, et qui ont varié de $18^{g},90$

à 28 grammes. Nos extraits ont toujours présenté une couleur et une odeur convenables, et qui ne faisaient pas soupçonner dans les vins la présence des matières étrangères. Comme pour les vins naturels, le poids de nos extraits a varié entre des limites assez éloignées. On ne peut pas déduire des variations de ce poids des conséquences bien rigoureuses relativement à la falsification des vins par une addition d'eau. Seulement, si on trouvait un vin dont l'extrait aurait un poids de beaucoup au-dessous de la limite inférieure connue jusqu'à ce jour, limite qui est de 19 grammes environ par kilog. de vin, on pourrait être fondé à croire que le vin a été additionnée d'eau.

Supposons, par exemple, un vin dont l'extrait pèse 26 grammes par litre et qu'on étende ce vin de son volume d'eau contenant 2 grammes de matières salines par litre d'eau. Deux litres du mélange d'eau et de vin évaporés jusqu'à consistance d'extrait donneront un résidu pesant 28 grammes, soit 14 grammes par litre. Le chimiste chargé de l'expertise de ce mélange sera, dans ce cas, autorisé à supposer que l'on a ajouté de l'eau potable au vin, et que c'est pour ce motif que le poids de l'extrait est si faible. Mais s'il voulait déduire du poids de l'extrait le volume d'eau qu'on a ajouté au vin, il devrait connaître *à priori* le poids réel d'extrait donné par le vin primitif non additionné d'eau, et, le plus souvent, il ne connaîtra pas ce dernier poids.

Les poids d'extraits des vins naturels d'une même circonscription communale n'ont rien de constant d'une propriété à l'autre, et pour la même propriété, d'une année à l'autre. On ne connait les limites extrêmes des poids d'extrait que pour des vins d'un très-petit nombre de localités. Dès lors, l'expert ne peut rien conclure du poids de l'extrait lorsque ce dernier est compris entre les limites connues ; et quand ce poids est en dehors de ces limites, l'expert ne pout avoir que des présomptions et non pas des certitudes.

Poids des cendres.

L'incinération des vins est une opération assez délicate, mais qui, avec quelques précautions, peut se faire à la fois sur 500 grammes de vin. On a indiqué plus haut la manière de faire cette opération.

En traitant les cendres par l'eau distillée, on en déduit successivement le poids des cendres solubles dans l'eau et le poids des cendres insolubles dans l'eau.

Le poids des cendres solubles dans l'eau a varié de 1g,80 vin

n° 3, à 5^g,740 vin n° 11. Il est en moyenne de 2^g,10. Les variations de ce poids tiennent sans doute d'une manière générale à ce que les vins sont de provenances diverses.

Le poids des cendres insolubles dans l'eau a varié de 0^g,390 (vin n° 27), à 0^g,860 (vin n° 21). Il est en moyenne de 0^g,598. C'est dans ces sels insolubles que se trouvent la plupart des oxydes métalliques ajoutés au vin, frauduleusement ou par mégarde. Ainsi le cuivre, le plomb, le fer, l'alumine s'y trouveront en entier.

Une quantité notable de fer (0^g,75 de sulfate de protoxyde de fer cristallisé par litre) colore en brun-rougeâtre les cendres insolubles dans l'eau. Presque tous nos vins ont laissé un résidu blanc; le vin n° 14 seul a fait exception. Le résidu avait une couleur violette due à une très-petite quantité de protoxyde de cuivre qu'il eût été difficile de doser exactement dans 100 grammes de vin.

On remarquera que le poids des cendres insolubles dans l'eau est de beaucoup inférieur au poids des cendres solubles dans l'eau, et présente des variations moins considérables. Si l'on connaissait les limites extrêmes du poids des sels insolubles, pour une série considérable de vins naturels, la détermination du poids des sels insolubles pour un vin suspect donnerait une indication précieuse qui serait contrôlée, du reste, par l'examen de la couleur et l'analyse complète des sels insolubles.

Le poids total des cendres des vins a varié de 2^g,380 (vin n° 25), à 4^g,340 (vin n° 11).

Il est en moyenne de 3^g,466; ce poids est plus considérable que celui des sels contenus par kilogramme d'eau potable ordinaire. Ce dernier poids s'élève au plus à 2 grammes par kilogramme. Il ne manque pas d'eaux qui en renferment davantage, mais elles sont alors de qualité assez médiocre. Les eaux potables des terrains tertiaires sont, en général, les plus chargées de matières salines. Celles des terrains secondaires sont ordinairement plus pures. Les plus pures sont, en général, les eaux des terrains granitiques. Elles ne renferment le plus souvent que quelques centigrammes de matières salines par kilogramme. En admettant qu'on étende un vin avec de l'eau potable de bonne qualité, ce mélange ne peut que diminuer la proportion totale des matières salines contenues dans les cendres du vin. Si donc on avait pour une suffisante quantité de vins naturels, les limites extrêmes du poids total des cendres d'un

kilogramme de vin, lorsque le poids total des cendres d'un vin suspect serait au-dessous de la limite inférieure, l'expert pourrait en conclure que le vin a été étendu d'eau; mais il ne pourrait dire exactement dans quelle proportion que s'il connaissait le poids des cendres du vin primitif et le poids du résidu salin contenu dans un litre de l'eau ajoutée.

Tous nos vins renferment une faible proportion de silice qui se partage entre les sels solubles et les sels insolubles dans l'eau. Nous ne l'indiquons ici que pour mémoire.

Silice.

Dosage du plomb, du cuivre, de l'étain et du platine, des cendres insolubles dans l'eau.

La silice des cendres insolubles dans l'eau doit être séparée en dissolvant celles-ci dans l'acide chlorhydrique et évaporant à sec pour rendre toute la silice insoluble. On reprend par de l'eau acidulée, et l'on filtre, ce qui sépare la silice. Dans la liqueur filtrée, on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré qui précipite le plomb, le cuivre, l'étain et le platine à l'état de sulfures (on a déjà dit que le platine provient de la capsule dans laquelle a été faite l'incinération du vin). On a dosé tous ces métaux en bloc à l'état d'oxysulfures, en grillant à l'air le filtre sur lequel ils avaient été recueillis. Le poids total de ces oxysulfures a varié de 0 à 0g,03 pour 1 kilog. de vin. Plusieurs échantillons n'ont donné que des traces indosables de matière: tels sont les nos 10, 12, 22, 27, 28, 40, 45. Quant aux poids indiqués dans le tableau, comme ils ont été obtenus pour 100 grammes de vin, et que nous les avons ensuite multipliés par 10, nous ne pouvons répondre de leur exactitude mathématique, parce que les pesées se sont faites sur des matières pesant au plus 0g,0045, en y comprenant les cendres du filtre.

L'oxyde de cuivre ne se trouve qu'en quantités indosables dans 100 grammes de vin. On en a constaté la présence en dissolvant les oxysulfures dans l'eau régale, évaporant à sec et reprenant par un peu d'ammoniaque. On obtenait quelquefois une bien faible coloration bleue, indiquant la présence de traces indosables de cuivre. Les échantillons nos 7, 9, 10, 15, 22, 27, 32, 45, n'ont pas donné trace de cuivre. L'échantillon no 14 est celui dans lequel la couleur bleue a été le plus intense. C'est le vin qui a fourni des sels insolubles dans l'eau de couleur violette. L'étain ne se trouve qu'en très-minime proportion dans les oxysulfures. Le plomb y est un peu plus abondant. Le platine en forme la majeure partie. C'est ce que nous avons constaté dans l'analyse complète des cendres du vin rapportée plus haut.

On a recherché également les métaux qui pouvaient être contenus dans la solution aqueuse des cendres. En aiguisant la liqueur avec de l'acide chlorhydrique et faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré, on n'a jamais obtenu de précipité appréciable en opérant sur 100 grammes de vin. Mais en opérant sur 1.000 grammes, on obtient un faible précipité brunâtre. Cela indique que les métaux précipitables par l'hydrogène sulfuré se partagent entre les sels solubles et les sels insolubles dans l'eau, mais qu'ils se trouvent principalement avec les sels insolubles. C'est le platine surtout qui passe dans les sels solubles à l'état de platinate de potasse ; comme il est étranger au vin, il est inutile de s'en occuper. L'étain, s'il était en proportion notable, pourrait aussi se trouver dans les sels solubles à l'état de stannate de potasse. Les métaux précipitables par l'hydrogène sulfuré étant en très-minime porportion dans le vin, pour les doser avec quelque exactitude, il faudrait opérer sur une quantité considérable de vin et faire passer le courant d'hydrogène sulfuré dans la solution chlorhydrique du poids total des cendres.

M. Chevalier, dans son *Dictionnaire des altérations des substances alimentaires*, tome I, page 65, 2e édition, dit que les alcools peuvent contenir des sels de plomb et de cuivre provenant soit de la conservation des alcools dans des estagnons de cuivre étamés anciennement ou attaqués par l'acide acétique qui s'est formé au sein du liquide, soit de la négligence avec laquelle on entretient les vases distillatoires, soit de l'emploi de serpentins construits avec un alliage de plomb et d'étain. Nous pensons que les mêmes causes peuvent introduire de l'étain dans les alcools. Cet étain, de même que le cuivre et le plomb dont nous avons constaté la présence dans les vins analysés, y aura sans doute été introduit à l'insu du marchand en additionnant les vins de la quantité d'alcool, que ce dernier supposait nécessaire pour l'expédition, ou bien en se servant pour la manutention des vins de vases en cuivre étamé.

Il arrive quelquefois que l'eau distillée renferme des traces d'étain provenant de l'alambic, et qu'elle donne un précipité brun-jaunâtre par un courant d'hydrogène sulfuré. Pour bien nous assurer que l'étain trouvé dans nos analyses ne provenait pas de l'eau distillée du laboratoire, nous avons eu le soin de faire des essais comparatifs fréquents, et nous avons toujours constaté l'absence de l'étain dans notre eau distillée.

Oxyde de fer

Le fer a été précipité à l'état de sulfure par l'hydrosulfate d'ammoniaque, qu'on verse dans la liqueur séparée par filtration des sulfures métalliques précipités par l'hydrogène sulfuré. On précipite en même temps de la chaux et de la magnésie à l'état de carbonates, de l'alumine et des phosphates de chaux et de magnésie. Ce précipité complexe est dissous dans l'eau régale. On ajoute ensuite de la potasse en excès, et l'on fait bouillir. Le résidu insoluble est séparé par filtration, redissous dans l'acide chlorhydrique, et précipité de nouveau par l'ammoniaque qui sépare aussi du peroxyde de fer mélangé encore d'une certaine quantité de matières étrangères. C'est le poids de ce dernier précipité qu'on a pris pour celui de l'oxyde de fer contenu dans le vin. Le procédé employé ne peut donner qu'une approximation suffisante, du reste, pour le but qu'on se proposait dans l'expertise, parce qu'on opérait de la même manière pour tous les vins, et qu'on trouvait des poids d'oxyde de fer semblables à ceux qui étaient indiqués par divers auteurs pour des vins naturels.

Au lieu de traiter les cendres par l'eau, on pourrait les traiter immédiatement par l'acide chlorhydrique; en séparer la silice gélatineuse et précipiter ensuite la liqueur successivement par l'hydrogène sulfuré et l'hydrosulfate d'ammoniaque. On redissoudrait par l'eau régale le précipité ainsi obtenu; on ferait bouillir la liqueur avec un excès de potasse qui donnerait un nouveau précipité qu'on calcinerait au rouge avec cinq fois son poids de carbonate de potasse. La matière serait traitée par l'eau qui dissoudrait du phosphate avec l'excès du carbonate de potasse employé. Le résidu insoluble serait repris par l'acide chlorhydrique et précipité par l'ammoniaque qui donnerait du peroxyde de fer encore mélangé d'une certaine quantité de matières étrangères et dont le poids présenterait une approximation suffisante dans le cas actuel. Cette méthode a été appliquée aux vins nos 11, 19, 23, 28, 30, 32, 40. Elle donne des résultats comparables à ceux qu'on obtient par celle qui a été indiquée d'abord. Elle en diffère en ce que la calcination avec le carbonate alcalin, au lieu de se faire au commencement de l'analyse avec le carbonate provenant de la combustion du tartrate alcalin, se fait à la fin de l'analyse avec du carbonate alcalin qu'on doit ajouter.

Le poids du peroxyde de fer a varié par kilog. de vin analysé de 0g,030, vin n° 27 à 0g,091, vin n° 5. Dans l'analyse com-

plète des cendres du vin, il est de $0^g,022$, et dans l'essai rapporté plus haut, il est de $0^g,062$. Ces deux déterminations ont été opérées en traitant le mélange par le procédé Berzelius donnant le proxyde de fer débarrassé de toutes les substances étrangares. Les deux nombres ainsi obtenus sont parfaitement comparables aux nombres obtenus par la méthode différente et plus rapide suivie dans l'expertise.

Il est impossible de dire *à priori* à quel état de combinaison ce peroxyde de fer se trouve contenu dans les vins. Les divers auteurs qui ont publié des analyses de vins ont admis que ce fer était à l'état de tartrate neutre de peroxyde ayant pour formule :



$$3C^8H^4O^{10}2Fe^2O^3.$$

Pour comparer nos déterminations à celles qu'ils ont données, nous transformerons également le peroxyde de fer en tartrate neutre. La quantité minimum de tartrate de fer serait dans nos vins de $0^g,10641$ (vin n° 27), et la quantité maximum de $0^g,31923$ (vin n° 5).

Dans le *Journal de chimie médicale*, année 1856, M. Filhol a donné vingt-huit analyses de vins de la Gironde. 21 échantillons renferment des quantités notables de tartrate de fer variant de $0^g,054$ à $0^g,262$ par kilogramme de vin.

Dans le *Dictionnaire des analyses chimiques*, de MM. Violet et Archambault, tome II, page 42, on cite quatre analyses de vins de la Gironde données par M. Fauré et où les proportions de tartrate de fer varient de $0^g,0642$ à $0^g,2944$ par kilog. de vin.

Notre maximum de tartrate différant très-peu des quantités maximum indiquées par MM. Filhol et Fauré, nous ne pensons pas que l'on puisse dire que les vins incriminés ont été falsifiés par une addition de sulfate de fer, addition que l'on supposait être d'un gramme environ par litre de vin.

Nous devons dire, en outre, que rien dans la couleur ou le goût ne nous a fait soupçonner la présence du sulfate de fer dans ces vins. Nous en avons jugé par comparaison en dissolvant $0^g,10$ de sulfate de fer dans 100 grammes d'eau. Quelques-uns de ces vins avaient un goût âpre dû au tannin qui est un des principes constitutifs du vin ; ce tannin est fourni principalement par la grappe qu'on laisse fermenter avec la pulpe et que l'on pressure avec elle.

Quant aux cendres, on a vu qu'elles étaient blanches, tandis

qu'en ajoutant seulement 0g,75 de sulfate de fer par litre, elles sont très-fortement colorées en brun rougeâtre.

Alumine.

L'alumine n'a pas été recherchée. Du reste, l'analyse complète des cendres rapportée plus haut prouve qu'elle est en bien petite quantité.

Acide sulfurique.

L'acide sulfurique a été recherché dans quelques échantillons seulement, tantôt dans le vin lui-même, tantôt dans les cendres. On sait que pour les vins naturels et pour ceux qui n'ont pas été fraudés par une quantité considérable de sulfate, ces deux procédés convenablement appliqués donnent des résultats identiques. L'acide sulfurique a varié dans nos vins de 0g,273, vin n° 48, à 0g,388, vin n° 5.

Ces quantités sont de beaucoup supérieures à celles qui sont nécessaires pour combiner à l'état de sulfate de protoxyde le maximum de peroxyde de fer trouvé dans nos analyses. Cela vient de ce que les vins renferment une quantité très-notable de sulfates terreux ou alcalins, et qu'ils renferment par suite beaucoup plus d'acide sulfurique qu'il n'en faut pour neutraliser le fer à l'état de sulfate. Ces résultats ne sont pas particuliers aux vins d'Espagne que nous avons examinés. M. Filhol indique dans le vin de Saint-Gaudens de l'année 1842 0g,463 d'acide sulfurique combiné. C'est un nombre supérieur à ceux qui ont été trouvés dans notre expertise.

En définitive, nous pensons :

1° Que les vins soumis à notre examen n'ont pas été additionnés de sulfate de fer, et que la quantité de fer qu'ils renferment provient de l'acte spontané de la végétation ;

2° Que les quantités de cuivre, plomb et étain, dont nous avons constaté la présence, n'ont pas été introduites frauduleusement dans les vins, et qu'elles proviennent soit de l'alcool qui a été ajouté probablement dans la plupart de ces vins, soit des vases qui ont servi à la manutention de ces vins, et que dès lors ces métaux ont été introduits à l'insu de l'expéditeur ;

3° Enfin, que les vins incriminés paraissent être des vins naturels, sauf l'addition de l'alcool qui est, du reste, en usage dans le commerce pour les vins destinés à l'exportation.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus dans l'expertise.

Pour 1 kilogramme de vin.

Nos d'ordre.	Titre alcoolique en volume.	Densité.	Poids de l'extrait non décomposé.	Poids de l'extrait après un commencement de décomposition.	Cendres solubles dans l'eau.	Cendres insolubles dans l'eau.	Poids total des cendres.	Platine, plomb, cuivre, étain, à l'état de oxysulfures.	Peroxyde de fer Fe^2O^3.	Acide sulfurique SO^3.	Observations.
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
1	13,07	»	22,65	»	»	»	»	»	»	»	
2	13,07	»	22,02	»	»	»	»	»	»	»	
3	14,00	»	23,70	»	1,800	0,800	2,600	0,020	0,060	»	(a)
4	13,53	»	22,78	21,85	3,310	0,640	3,960	»	0,050	»	(a)
5	13,30	»	24,22	21,55	3,398	0,570	3,968	0,015	0,090	0,388	(a)
6	13,40	»	22,87	»	3,300	0,570	3,900	0,020	0,080	»	(b)
7	13,53	»	25,10	22,86	3,450	0,530	3,980	0,010	0,070	»	(a)
8	13,66	»	25,54	23,66	2,200	0,500	2,700	»	0,070	»	(a)
9	13,80	»	27,35	24,41	2,700	0,460	3,160	0,020	0,080	»	(a)
10	13,06	»	23,63	»	3,620	0,470	4,090	traces	0,080	»	(b)
11	11,42	0,9937	19,79	»	3,740	0,600	4,340	0,010	0,050	0,336	(a)
12	13,30	»	20,29	19,69	2,150	0,520	2,670	traces	0,080	»	(b)
13	12,90	»	18,85	»	3,520	0,430	3,950	0,025	0,080	»	(b)
14	»	0,9937	27,05	25,15	2,820	0,610	3,430	0,030	0,090	»	(c)
15	13,30	»	21,23	15,78	2,320	0,430	2,750	0,025	0,070	»	(a)
16	12,70	»	20,24	»	3,650	0,480	4,130	0,030	0,080	»	(b)
17	(*)										
18	13,14	»	20,61	»	2,600	0,430	3,030	0,020	0,060	»	(b)
19	12,77	»	24,19	20,79	2,670	0,570	3,240	0,020	0,040	»	(a)
20	13,30	»	21,95	»	2,130	0,510	2,640	0,010	0,050	»	(a)
21	13,06	0,9929	27,00	23,90	3,320	0,860	4,180	0,010	»	»	(d)
22	13,66	»	27,68	24,53	2,800	0,730	3,530	traces	0,080	»	
23	12,87	»	26,79	24,69	3,570	0,600	4,170	0,030	0,060	»	(a)
24	13,00	0,9941	27,01	21,48	»	»	»	»	0,060	»	(a)
25	13,30	»	22,05	»	1,970	0,410	2,380	0,010	0,090	»	(a)
26	13,23	»	20,79	»	»	»	»	»	»	»	
27	13,07	0,9928	22,86	19,66	2,900	0,390	3,290	traces	0,030	»	
28	13,07	»	30,90	26,40	»	»	»	traces	0,060	»	(b)
29	13,20	»	24,03	22,68	»	»	»	»	»	»	
30	13,80	0,9929	28,98	25,95	2,590	0,620	3,210	traces	0,040	»	
31	12,10	»	23,10	19,20	»	»	»	»	»	»	
32	13,50	»	26,14	»	3,119	0,479	3,598	traces	0,075	»	
33	13,20	»	26,96	19,24	»	»	»	»	»	»	
34	13,10	»	24,85	22,65	»	»	»	»	»	»	
35	13,40	»	24,97	»	»	»	»	»	»	»	
36	12,80	»	21,73	18,13	»	»	»	»	»	»	
37	13,16	»	26,60	23,40	»	»	»	»	»	»	
38	12,73	»	22,27	17,95	»	»	»	»	»	»	
39	12,36	»	26,56	23,94	»	»	»	»	»	»	
40	12,70	»	28,19	24,89	»	»	»	traces	0,060	»	(b)
41	13,78	»	26,34	22,84	»	»	»	»	»	»	
42	13,16	»	29,72	23,75	»	»	»	»	»	»	
43	12,90	»	29,06	26,04	»	»	»	»	»	0,332	
44	13,10	»	27,55	25,78	2,850	7,510	3,360	traces	0,065	»	
45	12,66	0,9937	27,36	23,99	3,530	3,670	4,200	traces	0,080	»	
46	12,90	»	28,85	25,92	»	»	»	»	»	»	
47	12,83	»	23,65	20,32	»	»	»	»	»	»	
48	13,16	0,9932	24,35	21,51	»	»	»	»	»	0,273	
49	13,66	0,9932	24,29	22,34	2,520	2,420	2,940	traces	0,070	»	

(a) Pas de cuivre. — (b) Traces de cuivre. — (c) Traces notables de cuivre, sels insolubles colorés en violet par du protoxyde de cuivre. — (d) Traces de cuivre. Le dosage du fer a été manqué et on n'a pu le refaire, il est compris dans les limites extrêmes indiquées par ce tableau.

(*) On n'a pas pris d'échantillon à cause de la très-petite quantité de vin.

§ II. *Analyses d'eaux.*

On a fait connaître, dans le compte rendu de 1854, la méthode générale suivie au laboratoire d'Alger pour l'analyse des eaux. Quelques modifications y ont été apportées suivant la nature des eaux. Ainsi, pour les eaux éminemment chargées de chlorure de sodium, on dose les alcalis à l'état de chlorures, après avoir précipité la solution par un excès de baryte caustique, ainsi qu'on l'a indiqué plus haut dans l'analyse des vins.

Cette méthode est très-rapide et donne de bons résultats. Pour les eaux où les sels terreux dominent, cette méthode donne ordinairement de mauvais résultats, et il vaut mieux doser les alcalis à l'état de sulfates. On peut encore opérer de la manière suivante. On évapore l'eau à siccité et l'on reprend le résidu par l'eau distillée pour séparer les sels insolubles. On évapore de nouveau à sec la solution aqueuse; on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique sur le résidu pour déplacer les acides chlorhydrique, carbonique et nitrique; on chasse l'excès d'acide sulfurique en évaporant encore à sec et calcinant ensuite au rouge sombre; on dissout les sulfates dans l'eau et l'on mélange la solution froide avec du carbonate de baryte en poudre. On fait passer un courant d'acide carbonique, on précipite ainsi du sulfate de baryte, et il reste en dissolution des bicarbonates de chaux, de magnésie, de baryte, de soude et de potasse. On évapore à sec, ce qui transforme les bicarbonates en carbonates neutres. En reprenant par l'eau, on ne dissout que les carbonates alcalins qu'on tranforme ensuite en chlorures. Ce procédé a été appliqué plusieurs fois pour le dosage des alcalis.

Quand les eaux renferment des phosphates terreux, ceux-ci sont précipités avec le peroxyde de fer. On s'est contenté ordinairement de constater dans ce fer la présence ou l'absence des phosphates.

Il faudrait un volume d'eau assez considérable pour doser exactement la proportion de ces phosphates. Comme on ne peut disposer généralement que de deux litres d'eau pour faire toutes les recherches exigées par l'analyse, parce que ces eaux sont recueillies le plus souvent par les ingénieurs des mines pendant leurs tournées d'exploitation, on comprend

que les recherches complète de l'acide phosphorique sont impossibles.

Il en est de même pour la recherche de l'arsenic.

(a) EAUX MINÉRALES. — *Sels divers pour 1 kilo d'eau.*

Analyses faites par M. DE MARIGNY.

NATURE DES SUBSTANCES.	Eau thermale de l'Ouarencenis recueillie en novembre 1856. (1)	Eau thermale de l'Oued Radja recueillie le 7 novembre 1856. (2)	Eau thermale de Berouaguia recueillie le 7 décembre 1856. (3)	Eau thermale de Hammam-Rhira. (4)
	gr	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium.	1,4234	0,84310	0,5175	0,5326
Chlorure de potassium.	0,1066	»	»	»
Chlorure de magnésium	0,0270	0,06550	»	»
Chlorures	1,5570	0,90860	0,5175	0,5326
Sulfate de chaux.	0,2828	0,2561	»	0,8266
Sulfate de magnésie.	0,1416	0,1380	»	0,2726
Sulfate de soude.	»	»	0,0885(a)	0,4280
Sulfates.	0,4244	0,4031	0,0885	1,5272
Carbonate de soude.	»	»	0,4540	»
Carbonate de chaux.	0,3680	0,1850	0,1050	0,2866
Carbonate de magnésie.	0,0249	0,0485	0,0680	0,0506
Peroxyde de fer	0,0080	0,0050	0,0060	0,0266
Phosphates.	»			
Silice gélatineuse.	0,0180	0,0100	0,0050	0,0066
Residu insoluble dans l'eau après l'evaporation à sec.	0,4180	0,2465	0,1830	0,3698
Matière organique.	Indéterminé	Indéterminé	Indéterminé	Indéterminé
Total des sels.	2,4003	1,5572	1,2430	2,4296
Densité.	»	»	1,00103	1,00165

(a) Une portion de ce sulfate de soude provient de l'oxydation du sulfure de sodium.

Les sources thermales de Hammam-el-Hamé, dans l'Ouarencenis, sont situées à 8 kilomètres environ est-sud-est de la maison de commandement du caïd des caïds, sur les bords de l'Oued-el-Hammam. Il y a quatre sources sur la rive droite de la rivière et une source sur la rive gauche. Elles sourdent à travers les argiles schisteuses du terrain jurassique. La plus forte d'entre elles débite environ 400 mètres cubes en vingt-quatre heures. Sa température prise au bouillon est de 42°. Le bureau arabe d'Orléansville a fait construire auprès de cette source une piscine recouverte par une baraque en maçon- N° 1.

nerie. Les eaux des sources thermales de la rive droite de l'Oued-el-Hammam ne paraissent pas sensiblement sulfureuses. La source de la rive gauche, au contraire, noircit au bout de quelque temps une pièce d'argent qu'on y plonge. Elle s'épanche dans une légère dépression du sol qui sert de baignoire aux indigènes affectés de maladies cutanées. Aussi les Arabes l'appellent bain des lépreux.

N° 2. Les sources thermales de Hammam-el-Hamé déposent sur leur lit une matière verdâtre filamenteuse très-douce au toucher.

L'eau analysée provient de la source de la rive droite; elle n'avait aucune odeur sulfureuse au moment de l'analyse.

Sa composition n'a rien de particulier comme eau minérale. Elle se rapproche beaucoup de celle de certaines eaux du terrain tertiaire; c'est dire qu'elle renferme par litre une assez forte proportion (2g,40) de matières salines parmi lesquelles domine le chlorure de sodium.

Les sources thermales de l'Oued-Hadjia sont situées à 6 kilomètres nord-est du village de Cherf, dans le cercle de Djelfa. Elles ont une température variable de 33° 1/2 à 36°. Elles sont très-nombreuses sur les deux rives de l'Oued-Hadjia, dans une étendue d'une centaine de mètres. Leur débit total est d'environ 6 litres par seconde. Elles ne sont pas sulfureuses et déposent beaucoup de glairine verte sur leur parcours. Elles sont aujourd'hui sans emploi et doivent servir plus tard à l'irrigation des terres lorsqu'on aura construit le barrage projeté sur l'Oued-Hadjia.

La composition de la source analysée n'a rien de particulier. Au point de vue minéral, elle se rapproche de celle des eaux des terrains tertiaires.

Les sources thermales de Berouaguia sont situées à 22 kilomètres sud-est de Médéah; elles sont sulfureuses. Une pièce d'argent y brunit assez fortement au bout de quelque temps. L'analyse ayant été faite sur des bouteilles d'eau rapportées à Alger et plusieurs mois après qu'elles avaient été puisées, le sulfure de sodium s'était transformé complétement en sulfate de soude. Ces eaux déposent de la glairine tantôt blanche, tantôt d'un vert noirâtre. La blanche est en masse couenneuse ou en longs filaments blancs. Quelques bulles de gaz se dégagent du bouillon des sources à de rares intervalles. L'acide carbonique existe dans ces bulles, car l'eau a un goût légèrement

acide. Trois sources thermales sortent à peu près au niveau de la rivière, et sur la rive gauche, à travers les fissures et les strates de bancs de grès dirigés N. 112° E. *m.*, et plongeant presque verticalement au nord-est *m.* Leur débit total est d'environ 1 litre par seconde. La plus abondante pénètre, au sortir du bouillon, dans un bassin naturel enclavé dans le roc et servant de piscine pour les Arabes; c'est celle qui a été analysée. Le bassin a 3 mètres de long sur 2 mètres de large et 0m,50 de profondeur d'eau. La température de l'eau est de 41° sur le bord du bassin.

La source la plus voisine située à 3 mètres en amont a 33° 1/2. On n'a pas pris la température de la troisième source, qui est la moins importante.

Le ravin dans lequel coulent ces eaux est très-encaissé et se prêterait difficilement à l'installation d'un grand établissement de bains pour les Européens, à moins de faire de grands déblais et de dépenser beaucoup d'argent. Il serait peut-être plus convenable de construire l'habitation des baigneurs sur le plateau qui domine la source et de ne construire sur place que l'établissement essentiellement médical.

Les eaux de Berouaguia renferment principalement du carbonate de soude et du chlorure de sodium. Ce sont des eaux sulfureuses et alcalines auxquelles les Arabes attribuent de grandes vertus médicales. Comme elles sortent du terrain secondaire, elles sont beaucoup plus chargées de matières salines que les eaux sulfureuses des terrains granitiques. (Voir le *Traité des eaux minérales et des établissements thermaux du département des Pyrénées-Orientales, par M. Anglada.*)

Les sources thermales de Hamman-Rhira sourdent sur un plateau élevé au-dessus du niveau de l'Oued-el-Hamman, sur la rive gauche de cette rivière. Elles déposent du travertin sur tout leur parcours, et le plateau d'où elles s'échappent est couvert également d'une épaisse couche de travertin dont le dépôt est antérieur à l'occupation romaine. C'est en effet sur ce plateau que l'on trouve les ruines considérables de l'établissement romain d'Aquæ Calidæ. Les pierres de taille qui constituent ces ruines sont formées de grès jaunâtres du terrain tertiaire moyen et proviennent sans doute de la chaîne de grès qui longe la rive droite de l'Oued-el-Hamman. Sur la rive gauche de cette rivière, les marnes argileuses dominent; elles présentent autour des sources un caractère de dureté et de schis- N° 2.

tosité qui n'est pas habituel aux marnes de cet étage, et elles sont coupées par des filons de pyrite de cuivre qui paraissent mériter de fixer l'attention des industriels.

N° 4. La chaîne d'où s'échappent les sources thermales est une des ramifications du massif du Zaccar Chergi, dont la cime s'élève à la cote de 1.530 mètres. Les sources elles-mêmes sont à la cote de 505 mètres. Aussi l'hiver y est très-rigoureux. Les tremblements de terre sont fréquents à Hamman-Rhira ; ils y acquièrent une intensité qu'ils n'ont pas à Milianah, bien que cette ville soit située, par rapport au massif des deux Zaccars, à peu près dans la même situation que les eaux chaudes. Cela tient peut-être à ce que la présence des eaux chaudes est liée à l'action volcanique elle-même. Un établissement thermal a été construit depuis plusieurs années à Hamman-Rhira pour les besoins de nos soldats. Ces eaux produisent d'excellents effets dans les rhumatismes articulaires, les douleurs nerveuses et les blessures.

Il y a trois sources principales qu'on utilise dans l'établissement. La première fournissait en 1855 4.200 litres par heure. Sa température est de 45 à 46°. La deuxième fournissait en 1855 1.560 litres par heure. Sa température est de 44°.

La troisième servait à alimenter l'appareil à douches, fournissait en 1855 250 litres par heure. Cette source était à peu près tarie le 29 mai 1856.

Voici, d'après M. Duplat, pharmacien en chef de l'hôpital de Blidah, la composition de la source principale de l'établissement :

Chlorure de magnésium	0,185
Chlorure de sodium	0,216
Sulfate de soude	0,028
Sulfate de magnésie	0,024
Sulfate de chaux	1,286
Carbonate de chaux	0,200
Carbonate de magnésie	traces
Silice	0,008
Matière organique	0,339
Total	2,286

Une quatrième source ferrugineuse a été trouvée en 1856 en faisant quelques fouilles au milieu des ruines romaines. Cette source, dont le débit est d'un quart de litre environ par seconde, abandonne sur son parcours un dépôt ocreux fort abondant. Elle a une température de 65°. L'analyse de cette source indiquée plus haut. Elle diffère assez notablement de l'analyse donnée par M. Duplat.

Pour 1 kilogramme de vin.

Nos d'ordre.	Titre alcoolique en volume.	Densité.	Poids de l'extrait non décomposé.	Poids de l'extrait après un commencement de décomposition.	Cendres solubles dans l'eau.	Cendres insolubles dans l'eau.	Poids total des cendres.	Platine, plomb, cuivre, étain, à l'état de oxysulfures.	Peroxyde de fer Fe^2O^3.	Acide sulfurique SO^3.	Observations.
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
1	13,07	»	22,65	»	»	»	»	»	»	»	
2	13,07	»	22,02	»	»	»	»	»	»	»	
3	14,00	»	23,70	»	1,800	0,800	2,600	0,020	0,060	»	(a)
4	13,53	»	22,78	21,85	3,310	0,640	3,960	»	0,050	»	(a)
5	13,30	»	24,22	21,55	3,398	0,570	3,968	0,015	0,060	0,388	(a
6	13,40	»	22,87	»	3,300	0,570	3,900	0,020	0,080	»	b)
7	13,53	»	25,10	22,86	3,450	0,530	3,980	0,010	0,070	»	(a)
8	13,66	»	25,54	23,66	2,200	0,500	2,700	»	0,070	»	(a)
9	13,80	»	27,35	24,41	2,700	0,460	3,160	0,020	0,080	»	(a)
10	13,06	»	23,63	»	3,620	0,470	4,090	traces	0,080	»	(b)
11	11,42	0,9937	19,79	»	3,740	0,600	4,340	0,010	0,050	0,336	(a)
12	13,30	»	20,29	19,69	2,150	0,520	2,670	traces	0,080	»	(b)
13	12,90	»	18,85	»	3,520	0,430	3,950	0,025	0,080	»	(b)
14	»	0,9937	27,05	25,15	2,820	0,610	3,430	0,030	0,090	»	(c)
15	13,30	»	21,23	15,78	2,320	0,430	2,750	0,025	0,070	»	(a)
16	12,70	»	20,24	»	3,650	0,480	4,130	0,030	0,080	»	(b)
17	(*)										
18	13,14	»	20,61	»	2,600	0,430	3,030	0,020	0,060	»	(b)
19	12,77	»	24,19	20,79	2,670	0,570	3,240	0,020	0,040	»	(a)
20	13,30	»	21,95	»	2,130	0,510	2,640	0,010	0,050	»	(a)
21	13,06	0,9929	27,00	23,90	3,320	0,860	4,180	0,010	»	»	(d)
22	13,66	»	27,68	24,53	2,800	0,730	3,530	traces	0,080	»	
23	12,87	»	26,79	24,69	3,570	0,600	4,170	0,030	0,060	»	(a)
24	13,00	0,9941	27,01	21,48	»	»	»	»	0,060	»	(a)
25	13,30	»	22,05	»	1,970	0,410	2,380	0,010	0,090	»	(a)
26	13,23	»	20,79	»	»	»	»	»	»	»	
27	13,07	0,9928	22,86	19,66	2,900	0,390	3,290	traces	0,030	»	
28	13,07	»	30,90	26,40	»	»	»	traces	0,060	»	(b)
29	13,20	»	24,03	22,68	»	»	»	»	»	»	
30	13,80	0,9929	28,98	25,95	2,590	0,620	3,210	traces	0,040	»	
31	12,10	»	23,10	19,20	»	»	»	»	»	»	
32	13,50	»	26,14	»	3,119	0,479	3,598	traces	0,075	»	
33	13,20	»	26,96	19,24	»	»	»	»	»	»	
34	13,10	»	24,85	22,65	»	»	»	»	»	»	
35	13,40	»	24,97	»	»	»	»	»	»	»	
36	12,80	»	21,73	18,13	»	»	»	»	»	»	
37	13,16	»	26,60	23,40	»	»	»	»	»	»	
38	12,73	»	22,27	17,95	»	»	»	»	»	»	
39	12,36	»	26,56	23,94	»	»	»	»	»	»	
40	12,70	»	28,19	24,89	»	»	»	traces	0,060	»	(b)
41	13,78	»	26,34	22,84	»	»	»	»	»	»	
42	13,16	»	29,72	23,75	»	»	»	»	»	»	
43	12,90	»	29,06	26,04	»	»	»	»	»	0,332	
44	13,10	»	27,55	25,78	2,850	2,510	3,360	traces	0,065	»	
45	12,66	0,9937	27,36	23,99	3,530	3,670	4,200	traces	0,080	»	
46	12,90	»	28,85	25,92	»	»	»	»	»	»	
47	12,83	»	23,65	20,32	»	»	»	»	»	»	
48	13,16	0,9932	24,35	21,51	»	»	»	»	»	0,273	
49	13,66	0,9932	24,29	22,34	2,520	2,420	2,940	traces	0,070	»	

(a) Pas de cuivre. — (b) Traces de cuivre. — (c) Traces notables de cuivre, sels insolubles colorés en violet par du protoxyde de cuivre. — (d) Traces de cuivre. Le dosage du fer a été manqué et on n'a pu le refaire, il est compris dans les limites extrêmes indiquées par ce tableau.

(*) On n'a pas pris d'échantillon à cause de la très-petite quantité de vin.

Les deux Zahrez sont deux lacs très-fortement salés qui occupent la partie la plus basse d'une vaste dépression comprise entre la chaîne secondaire des Seba-Rous au nord et la chaîne secondaire du Djebel-Sahari au sud.

Eau n° 5. Le Zahrez-Rharbi (occidental) a 40 kilomètres de long sur 8 kilomètres de largeur moyenne. Il est alimenté à l'est par l'Oued-Malah, qui baigne le pied du rocher de sel du Djebel-Sahari ; à l'ouest par l'Aïn-Adjera, qui traverse le rocher de sel de même nom. La hauteur d'eau de ce lac augmente depuis les bords jusqu'au centre, où elle s'élèverait, dit-on, à 1 mètre et même plus en hiver. Elle s'évapore en été et il ne reste alors qu'une vaste nappe de sel dont l'épaisseur, au centre du lac, est évaluée à $0^m,70$. L'analyse n° 1 indique la composition de l'eau salée recueillie le 6 novembre 1855 sur le bord méridional du lac. Les pluies tombées en septembre et octobre avaient redissous la plus grande partie de la couche de sel. Il restait encore sur les bords du lac un dépôt de cristaux de sel marin affectant la forme de trémies de 6 à 8 millimètres de côté, isolées les unes des autres. Ce sel est recueilli par les Arabes qui campent à proximité des bords du lac et sert pour leurs besoins domestiques ; mais il n'est pas l'objet d'une extraction considérable.

L'eau salée recueillie le 6 novembre après plusieurs jours de beau temps est très-riche en sel marin, dont elle renferme 24,305 p. 100 en poids. Elle ne contient que des traces de carbonates terreux, d'oxyde de fer et de silice. Elle est assez pauvre en sulfate de chaux et renferme de notables proportions de sels de magnésie (sulfate et chlorure).

Le 3 décembre 1855, nous avons traversé l'extrémité orientale de ce lac et nous n'avons trouvé dans toute sa largeur qu'une forte lame d'eau fortement salée de 2 centimètres de hauteur au plus. Comme il avait plu pendant plusieurs jours, les affluents du Zahrez avaient apporté d'assez grandes quantités d'eau douce, et c'est ce qui explique la différence de composition entre les eaux n° 1 et n° 2.

Ainsi, le sel marin a diminué à peu près dans le rapport de 3 à 2. Les sels solubles de magnésie ont aussi diminué. Les carbonates terreux, le fer et la silice ont, au contraire, augmenté d'une manière sensible et sont dosables quand on opère sur 1 kil. d'eau. Ces carbonates ont été apportés par les eaux de pluies. On sait, en effet, que les eaux douces renferment en

général une quantité de carbonates terreux plus ou moins considérable, tenue en dissolution par un excès d'acide carbonique. Lorsque ces eaux se rendent dans un bassin fermé et qu'elles sont soumises à un ballotement continuel par l'action des vents, l'acide carbonique se dégage et les carbonates terreux se déposent. C'est ce qui explique pourquoi l'eau recueillie le 6 novembre 1855, après une assez longue période de jours sans pluie, ne renferme pas de quantités notables de carbonates terreux.

Sur le tiers de sa longueur à partir de l'ouest, le Zahrez-Rharbi peut être traversé à gué. Ce gué, qui porte le nom de Macta-Djedean, est remarquable parce qu'il présente en son milieu une source d'eau jaillissant en été à travers la croûte de sel qui tapisse le fond du lac. Nous avons vu également une source d'eau douce (Aïn-Sebakh) à l'extrémité orientale du lac. Cette source, qui est due sans doute eux mêmes causes que celle du Macta-Djedean, s'échappe d'un dépôt assez considérable de gypse de la période quaternaire. Il est probable qu'il existe autour du Zahrez-Rharbi et dans la cuvette même de ce lac de nombreux dépôts de même nature.

Le Zahrez-Chergui (oriental) a 36 kilomètres de long sur 14 kilomètres de largeur moyenne. Il est alimenté par les infiltrations salines qui ont traversé le terrain quaternaire. Ce lac, de même que le Zahrez-Rharbi, est couvert en novembre et en décembre d'une nappe d'eau très-fortement salée. L'analyse n° 7 indique la composition de l'eau recueillie le 7 novembre 1855 après une période de beau temps. Cette composition diffère très-peu de celle de l'eau du Zahrez-Rharbi recueillie à la même époque. En novembre, le fond du Zahrez-Chergui est tapissé de petits cristaux isolés de sel marin qui sert aux besoins des Arabes campés sur les bords du lac. Le fond de ce lac est très-vaseux ; il est impossible de pénétrer en hiver dans l'intérieur du lac à pied ou à cheval. En été, il se forme sur le fond du lac une croûte de sel qui n'est pas très-solide. Elle ne peut, dit-on, supporter le poids des chevaux qui enfoncent dans la vase de $0^m,40$ à $0^m,50$; aussi est-il très-dangereux de se hasarder sur ce lac pour en explorer les parties centrales. Eau n° 7.

Les sources salées qui s'échappent des flancs du rocher de sel du Djebel-Sahari présentent une composition à peu près semblable. Elles sont un peu plus riches en sel marin que les Eaux n° 8 et 9.

eaux du Zahrez recueillies au commencement de novembre 1855. Elles en diffèrent en ce qu'elles renferment des quantités plus considérables de carbonates terreux. Ces sources, de même que l'eau du Zahrez-Chergui, sont plus que saturées de sulfate de chaux, à cause de leur grande richesse en sel marin qui augmente la solubilité du sulfate de chaux. Elles sont reçues dans des bassins en argile damée où elles se concentrent. Il se forme ainsi des croûtes de sel qui sont exploitées par l'intendance militaire pour les besoins des garnisons de Laghouat et de Djelfa.

Eaux n°s 10 et 11. L'Oued-Malah est une rivière qui prend sa source aux environs de Djelfa et traverse successivement les terrains secondaire, tertiaire et quaternaire avant de passer au pied du rocher de sel du Djebel-Sahari. Elle roule auprès du Djebel-Sahari un volume d'eau considérable qui était de 1 mètre cube environ par seconde le 2 novembre 1855. Cette eau renferme par kilogramme 1^g,554 de sels divers parmi lesquels dominent les sulfates de chaux et de magnésie. Après avoir dépassé l'îlot formé par le rocher de sel, les eaux de l'Oued-Malah contiennent par litre 2^g,973 de sels divers. Cet accroissement de matières salines est dû à une certaine quantité de sulfate de soude et de chlorure de sodium. En amont du rocher, l'eau renferme par kilogramme 0^g,3601 de chlorure de sodium.

En aval, elle en renferme 1^g,5078, c'est-à-dire environ quatre fois plus. On voit donc que l'action du rocher de sel sur les eaux de l'Oued-Malah est assez sensible. Cependant elle n'est pas assez forte pour rendre ces eaux impropres à la boisson des animaux domestiques et à l'irrigation. Le débit de l'Oued-Malah est très-considérable en toute saison. On se propose d'utiliser les eaux en aval du rocher de sel au moyen d'un barrage pour l'irrigation des plaines quaternaires qui sont comprises entre le Djebel-Sahari et le Zahrez-Kharbi. Cette opération transformerait sans nul doute l'aspect d'un terrain qui est aujourd'hui sans valeur et ne produit que de maigres pâturages pour les troupeaux de moutons et de chameaux.

Les eaux de l'Oued-Malah contribuent à augmenter la quantité de matières salines qui arrivent annuellement dans le Zahrez-Rharbi; mais on ne doit pas exagérer outre mesure l'importance des matières apportées par l'Oued-Malah, car autour du Zahrez-Chergui, qui est tout aussi salé et plus considérable que le Zahrez-Rharbi, on ne connaît aucun gîte de sel

gemme, et, par suite, on ne saurait prétendre que le sel contenu dans le Zahrez-Chergui y est apporté par des ruisseaux qui, comme l'Oued-Malah, ont passé au pied de masses considérables de sel gemme. Ce lac est alimenté par des cours d'eau qui descendent de crêtes rocheuses de la période secondaire et traversent ensuite une plaine quaternaire avant de se rendre dans le lac. Des affluents de même nature vont se jeter dans le Zahrez-Rharbi et contribuent, comme l'Oued-Malah, à augmenter la salure des eaux de ce lac. Du reste, l'Oued-Malah ne traverse pas le sel gemme lui-même, il passe sur des argiles gypseuses associées au sel; et quant aux sources salées sortant des flancs du rocher de sel, elles sont peu abondantes et presque à sec à leur confluent dans l'Oued-Malah. L'Oued-Hadjera, qui traverse l'îlot de sel gemme du même nom, roule très-peu d'eau et se perd dans les alluvions bien avant d'arriver dans le lac.

Les eaux des affluents des deux Zahrez renferment des chlorures, des sulfates et des carbonates. Elles arrivent dans des bassins fermés où elles sont soumises à l'action des vents et du soleil. Comme elles n'ont qu'une faible épaisseur, l'agitation superficielle se transmet à toute la masse liquide, l'acide carbonique en excès se dégage et les carbonates terreux se déposent. L'évaporation de l'été augmente ensuite la teneur en sulfate de chaux au point que ce sel devient insoluble; il se précipite alors sur le fond du lac. Lorsque les eaux sont suffisamment concentrées, le sel marin se précipite à son tour, et si l'évaporation peut se prolonger assez longtemps, on a un dernier dépôt où le sulfate de magnésie est très-abondant. Telle est la série des phénomènes qui se passent annuellement dans les Zahrez. Lorsque les pluies de l'automne reviennent, elles redissolvent la couche de sel gemme; les affluents apportent de nouvelles quantités de carbonates terreux et de sulfate de chaux, qui se déposent ensuite au-dessus des couches déjà formées, et le sel marin reste toujours à la surface.

D'après cela, le fond du bassin des deux Zahrez serait formé par un dépôt de sulfate de chaux et de carbonates terreux, et c'est en effet ce que nous avons pu confirmer, ainsi qu'on le verra plus bas par l'analyse de la roche terreuse qui forme le sol du bassin des Zahrez.

Si l'alimentation de ces lacs est due uniquement aux affluents



qu'ils reçoivent, il est probable que dans les premiers temps, la composition des eaux était différente de celle qu'on observe aujourd'hui, et que les sulfates de soude et de magnésie y étaient alors moins abondants.

(c) Eaux potables.

Les eaux potables seront divisées en plusieurs catégories, selon les terrains qu'elles traversent.

On distinguera :

1° Les eaux des terrains granitiques;

2° Les eaux des terrains secondaires;

3° Les eaux des terrains tertiaires;

4° Les eaux des terrains quaternaires;

5° Les eaux dont l'origine géologique est inconnue, et qui ont été adressées de divers points au laboratoire du service des mines.

1° Eaux potables des terrains granitiques.

Eau d'Azib-Zamoun. Le caravansérail d'Azib-Zamoun est situé à 19 kilomètres O.-N.-O. de Tiziouzou (Kabylie), sur la zone de contact des marnes tertiaires et d'un massif granitique qui se détachant du massif primitif principal des Flissa, forme une espèce de promontoire au milieu des marnes du terrain tertiaire moyen. A 1.000 mètres sud environ du caravansérail, au point où le granite se détache nettement des marnes tertiaires, on voit surgir du granite une source d'eau limpide et d'excellent goût débitant environ ¼ de litre par seconde. Un kilo de cette eau renferme les sels minéraux suivants :

Chlorure de sodium	0,0123
Chlorure de magnésium	0,0463
Chlorures	0,0586
Sulfate de chaux	0,0190
Carbonate de chaux	0,0860
Carbonate de magnésie	0,0740
Carbonates	0,1600
Silice libre	0,0100
Matières organiques	indéter.
Total des sels	0,2476
Auteur	Vatonne.

Cette eau est d'excellente qualité, ce qu'il était facile de prévoir, à cause de la nature cristalline des roches qu'elle traverse. Il se peut cependant que les infiltrations à travers le terrain granitique soient mélangées avec d'autres venant des marnes tertiaires qui entourent par derrière le promontoire granitique d'Azib-Zamoud et s'élèvent au-dessus du point d'émergence de la source.

Les eaux des terrains secondaires qui ont été analysées proviennent de la région comprise entre Boghar et Laghouat, c'est-à-dire entre le Tell et le Sahara algérien.

L'eau n° 12 n'est, à proprement parler, que de l'eau de pluie qui a traversé une faible couche d'alluvions arrachées à des roches secondaires très-dures formées principalement de grès quartzeux à ciment calcaire, et de calcaire compacte ou cristallin. C'est ce qui explique la pureté de cette eau, qui ne renferme que 0g,20232 de sels divers par kilog. On ne peut la considérer comme indiquant la composition générale des eaux des terrains secondaires, parce que son trajet souterrain étant très-court, elle n'a pu être en contact avec les diverses roches qui composent les terrains secondaires de la région dont on s'occupe. Eau n° 12.

Les eaux nos 13, 14, 15, 16, 17, indiquent au contraire, d'une manière assez juste, la composition générale des eaux de cette région. Eaux nos 13, 14, 15, 16 17.

La proportion totale de matières salines y est assez forte. Elle varie par litre de 0g,7449 à 1g,7626. Les sulfates sont les éléments qui dominent : ils forment de 0,54 à 0,61 du poids total des sels. Les carbonates et les chlorures varient à peu près entre des limites semblables pour ces deux genres de sels.

Les eaux des terrains secondaires du Tell ont une composition généralement différente des précédentes. Elles sont plus pures; les carbonates terreux y sont les éléments dominants. Les sulfates, de même que les chlorures, y forment le quart environ du poids total des sels. Tous ces faits trouvent leur explication dans les différences de composition des terrains secondaires du Tell, et de la région comprise entre Boghar et Laghouat.

(1) Voir à la page suivante le tableau des analyses.

9° Eaux potables des terrains secondaires. — *Sels divers par kilogramme d'eau.*

NOMS DES SUBSTANCES.	EAU du puits situé dans la cour du poste de Gueit-es-Settel, recueillie le 31 octob. 1855. (12	EAU de l'Oued Djelfa, recueillie le 9 nov. 1855, auprès du poste de Djelfa. (13	EAU de la fontaine Versini, située auprès de Djelfa, recueillie le 8 octob. 1855. (14)	EAU d'Aïn-el-Ibel, recueillie le 30 novembre 1855. (15)	EAU d'Aïn-Sidi-Mahreiouf, recueillie le 9 novembre 1855. (16)	EAU de l'Oued Mzi recueillie le 28 nov. 1855, au gué de Laghouat dans la rivière. (17,	EAU de l'Oued Mzi recueillie le 28 nov. 1855, à Laghouat dans le canal de dérivation. (16).
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium	0,00166	0,1008	0,1220	0,2055	0,52120	0,1722	0,1860
Chlorure de magnésium	0,01220	0,0364	»	0,0158	»	0,0152	0,0036
Chlorure de calcium	0,02611	»	»	»	»	»	»
Chlorures	0,04297	0,1372	0,1220	0,2213	0,52120	0,1874	0,1896
Sulfate de soude	»	»	»	»	0,0708	»	»
Sulfate de magnésie	»	0,2624	0,3528	0,4492	0,5864	0,1467	0,1852
Sulfate de chaux	0,02805	0,2284	0,1694	0,2339	0,2938	0,3074	0,2776
Sulfates	0,02805	0,4908	0,5222	0,6831	0,9510	0,4541	0,4628
Carbonate de chaux	0,08600	0,1480	0,1720	0,2300	0,2300	0,0840	0,1060
Carbonate de magnésie	0,00530	0,0512	0,0604	0,0544	0,0544	0,0122	
Carbonates	0,09130	0,1992	0,2324	0,2744	0,2744	0,0962	0,1060
Peroxyde de fer	0,22000	0,0040	0,0120	0,0040	0,0040	0,0050	0,0040
Phosphates			»			»	traces
Silice gélatineuse libre	0,60200	0,0240	0,0320	0,0360	0,0120	traces	0,0040
Matières organiques	indéterminée	indéterminee	indéterminée	indéterminée	indéterminee	indéterminee	indéterminée
Total des sels	0,20232	0,8552	0,9206	1,2388	1,7026	0,7449	0,7664
Densité	1,00025	1,0006	1,00044	1,0006	1,0013	»	»
Auteur	VATONNE.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	VILLE.	VILLE.

Ces derniers terrains renferment des couches de plâtre qui présentent un développement très-considérable. Ainsi l'Oued-Mzi traverse, auprès de Laghouat, une chaîne de montagnes formée par les Djebels-Zebecha, Dakla, Rous-el-Oïoun et Moudloua, où se trouve un puissant dépôt de gypse régulièrement stratifié, ayant 40 kil. de long sur 8 kil. de largeur moyenne. Les dépôts de ce genre sont assez nombreux au sud du Tell dans les terrains secondaires. On comprend que les eaux qui les traversent puissent se charger de quantités assez notables de sulfates de chaux et de magnésie. Dans la région du Tell, le plâtre se présente en nombreux îlots dont l'origine est probablement métamorphique. Mais ces îlots sont généralement très-restreints; aussi les eaux qui traversent les terrains secondaires de cette région contiennent ordinairement peu de sulfates.

Les eaux nos 13, 14, 15, 16, 17 peuvent être considérées comme assez convenables pour les usages domestiques. Un barrage, établi en amont de Laghouat, détourne les eaux de l'Oued-Mzi et les amène dans les jardins de palmiers de cet oasis. Le canal traverse la ville et tous les habitants vont y puiser l'eau nécessaire à leurs besoins. La composition de cette eau est indiquée par l'analyse n° 18.

Elle diffère à peine de l'eau n° 17 prise dans l'Oued-Mzi lui-même. On y trouve de plus un peu de silice gélatineuse et des traces de phosphates. Eau n° 18.

L'Oued-Djelfa prend le nom de Oued-Malah auprès du rocher de sel. L'analyse n° 10 fait connaître la composition de cette eau à 500 mètres en amont du rocher de sel. On voit que l'eau s'est chargée dans son parcours d'une quantité de matières salines qui est environ le double de ce qu'on trouve à Djelfa. Cela vient de ce que l'Oued-Djelfa a traversé les terrains quaternaire et tertiaire avant de passer auprès du rocher de sel.

3° Eaux potables des terrains tertiaires. — *Sels divers par kilogramme d'eau.*

NOMS DES SUBSTANCES.	EAU de Boghar, recueillie le 28 oct. 1855, à la source de la caserne. (19)	EAU de Boghar, recueillie le 28 oct. 1855, à la source de l'abreuvoir. (20)
	gr.	gr.
Chlorure de sodium	0,0340	0,0408
Chlorure de magnésium	0,0122	»
Chlorure de calcium	0,0054	»
Chlorures	0,0516	0,0408
Sulfate de magnésie	»	0,0378
Sulfate de chaux	0,0326	0,0300
Sulfates	0,0326	0,0678
Carbonate de magnésie	0,0450	0,0654
Carbonate de chaux	0,1700	0,2760
Carbonates	0,2150	0,3414
Peroxyde de fer	0,0120	0,0040 (peroxyde de fer et phosphates)
Phosphates	»	
Silice	0,0260	0,0040
Matière organique	indéterminée	indéterminée
Total des sels	0,3372	0,4580
Densité	»	1,00033
Auteur	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.

Les eaux des sources de Boghar sont très-abondantes, très-limpides et d'un excellent goût. Elles sortent du terrain tertiaire moyen à la séparation des argiles d'avec les grès et les poudingues. Elles ne s'écoulent pas toujours suivant la ligne de plus grande pente des couches de grès ou de poudingues. Elles suivent parfois une direction souterraine intermédiaire entre la ligne de plus grande pente et l'horizontale, et ce trajet oblique explique la présence d'une très-grande quantité de sources que l'on rencontre au pied des bancs de grès tertiaires au contact des argiles. Les eaux de Boghar sont utilisées aujourd'hui pour arroser des jardins qui s'étendent au sud du poste. Elles ont donné lieu à un puissant dépôt de travertin sur lequel est bâti le poste. Cela s'explique par la proportion assez forte de carbonates terreux qu'elles renferment (de 0^{gr},2150 à 0,3414 par kilogramme d'eau). Elles ont une pureté très-grande pour des eaux qui sortent du terrain tertiaire moyen. Le poids total des sels par kilo d'eau varie en effet de 0^{gr},3372 à 0^{gr},4580. Ainsi, l'analyse chimique est d'accord avec le résultat de l'expérience, car les eaux de Boghar sont très-renommées par leur fraîcheur et leur bonne qualité dans un rayon fort étendu.

4° Eaux potables des terrains quaternaires. — *Sels divers par kilogramme d'eau.*

NOMS DES SUBSTANCES.	EAU du Cheliff, recueillie le 29 oct. 1855, avant une crue au gué du Ksar Boghari. (21)	EAU du Cheliff, recueillie le 29 oct. 1855, après une forte crue, au gué du Ksar Boghari. (22)	EAU d'un Redir d'Aïn-Krechem, recueillie le 30 oct. 1855, après des pluies. (23)	EAU du puits situé dans la cour du poste d'Aïn-Quserah, recueillie le 31 oct. 1855, après des pluies. (24)	EAU d'un puits situé sur la place Ben-Salem, à Laghouat, recueillie le 28 nov. 1855, à la profondeur de 8m. (25)	EAU du puits du jardin de Sidi ben-Nasser, recueillie le 28 nov. 1855, à 8m de profondeur, dans l'oasis nord de Laghouat. (26)	EAU du puits du jardin de Sidi-Mohammed-ben-Alia, recueillie le 28 nov. 1855, à 8m de profondeur, au centre de l'oasis N. de Laghouat. (27)	EAU du puits du jardin du sieur Abd-el-Kader-ben-Alia, recueillie le 28 nov. 1855, à 15m de profondeur, dans l'oasis sud de Laghouat. (28)	EAU du puits artésien de Tamerna, recueillie en juin 1856, oasis de la province de Constantine. (29)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium . . .	2,8690	3,0716	0,6768	0,6848	0,4172	0,5019	0,3748	0,1596	1,5605
Chlorure de magnésie . .	»	0,3135	»	0,0233	»	0,0024	»	0,0200	»
Chlorures. . .	2,8690	3,3851	0,6768	0,7081	0,4172	0,5043	0,3748	0,1796	1,5605
Sulfate de soude	0,7360	»	»	»	0,0224	»	»	»	»
Sulfate de magnésie . . .	1,3700	0,7785	0,3576	0,4586	0,4912	0,6174	0,4308	»	1,0577
Sulfate de chaux	1,5560	1,0758	0,1688	0,2176	0,9042	1,0405	0,9140	0,5220	1,5437
Sulfates. . .	3,6620	1,8543	0,5264	0,6756	1,4180	1,6579	1,3148	0,5220	2,6014
Carbonate de magnésie . .	0,0030	0,0045	0,0604	0,0512	0,0696	0,0576	0,0876	0,0060	»
Carbonate de chaux. . . .	0,1000	0,0940	0,1640	0,1600	0,2480	0,2700	0,2560	0,1440	0,2211
Carbonates. . .	0,1030	0,0985	0,2244	0,2112	0,3176	0,3276	0,3436	0,1500	0,2211
Peroxyde de fer.	0,0020	0,0020	0,0040	0,1040	0,0080	0,0100	0,0040	0,0040	traces.
Phosphates.	»	»	traces.	»			»		
Silice gélatineuse libre. .	0,0040	0,0020	0,0100	0,0240	0,0040	0,0160	0,0080	0,0080	0,1600
Silicate de magnésie. . .	»	»	»	»	»	»	0,0608	0,0710	»
Matière organique.	indéterminée.	indéterminée.	indéterminée.	indéterminée.	indéterminée.	indéterminée	indéterminée.	indéterminée.	indéterminée.
Total des sels. . .	6,6409	5,3428	1,4716	1,6229	2,1648	2,5158	2,1360	0,9346	4,5430
Densité.	»	»	»	»	1,0020	1,00219	»	1,00087	1,0045 à 28°
Auteur	VILLE.	VILLE.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	VATONNE.	DE MARIGNY.	VILLE.	VATONNE.

Les eaux des terrains quaternaires sont caractérisées par la forte proportion de matières salines qu'elles renferment généralement. La plus pure est l'eau n° 28, provenant du puits de l'oasis sud de Laghouat. Cette eau ne renferme que $0^{g}.9346$ de sels divers par kilo. Elle a une grande analogie de composition avec l'eau de l'Oued-Mzi, analyses n°s 16 et 17. Cela s'explique parce que le puits est creusé tout auprès de la rive droite de la rivière, et qu'il est alimenté probablement par les infiltrations de celle-ci. Pour les autres eaux quaternaires, le poids des sels varie de $1^{g}.4716$ à $6^{g}.6409$ par kilo d'eau On voit donc qu'en général elles sont de qualité médiocre ou très-mauvaise pour les divers besoins de l'économie domestique.

Les sels dominants sont les sulfates et les chlorures. Ordinairement les sulfates l'emportent sur les chlorures. Cela vient de ce que les terrains quaternaires sont fort riches en dépôt de plâtre tendre presque farineux, et faciles à traverser par les eaux d'infiltration. Ils renferment aussi du sel marin à l'état de dissémination dans leur masse. Il n'est donc pas étonnant que les cours d'eau qui traversent ces terrains se chargent largement de sels solubles, alcalins et terreux, et que ces eaux soient, par suite, de qualité médiocre pour les usages domestiques.

Eau n° 21. L'eau du Chelif n° 21, recueillie le 29 octobre 1855, au gué du Ksar Boghari, avant la saison des pluies, contient l'énorme proportion de $6^{g},6409$ de sels divers par kilo d'eau, ce qui la rend impropre aux divers besoins de l'économie domestique. Elle ne dissout pas le savon et cuit mal les légumes. Elle est à la fois indigeste et purgative, en raison de sa richesse en sulfates alcalins et terreux; sa teneur en sel marin lui communique aussi un goût légèrement salé. Sa composition s'explique par la nature minéralogique des terrains quaternaires que traversent le Chelif et ses affluents en amont du Ksar-Boghari.

Le 29 octobre 1855 au matin, le Chelif roulait au gué du Ksar-Boghari une très-faible quantité d'eau dont on peut évaluer le débit à un litre par seconde tout au plus. Il est survenu dans la journée une crue d'un mètre environ de hauteur, qui a produit un volume d'eau dont on peut évaluer le débit à 100 mètres cubes environ par seconde. En tenant compte du poids des matières terreuses supposées sèches qui se trouvaient en suspension dans un litre de cette eau, nous avons calculé

que chaque mètre cube d'eau roulé par le Chélif tenait en suspension 20 kilog. de matières terreuses.

Le Chélif roulait donc deux tonnes de ces matières par seconde et 172.800 tonnes par 24 heures. En admettant qu'un mètre cube de ces matières pèse 2t,400, les 172.800 tonnes correspondront à 72.000 mètres cubes, et si on les entassait sur un hectare de terrain, elles produiraient un dépôt de 7m,20 de hauteur. La crue dont nous parlons était une des plus faibles du Chélif. Ces chiffres donnent une idée de la grande quantité d'alluvions argilo-sableuses que le Chélif peut entraîner dans ses débordements. On sait, en effet, que ces alluvions arrivent jusqu'à l'embouchure du Chélif et se répandent au loin dans la mer.

L'eau du Chélif, après la crue du 29 octobre 1355 (analyse n° 22), renferme encore une très-forte proportion de matières salines : 5g,3419 par kilog. d'eau filtrée. Si l'on compare cette composition avec celle de l'eau avant la crue, on se rendra facilement compte des différences. La proportion des chlorures est plus forte après la crue qu'avant. La proportion des sulfates est au contraire plus petite, et la proportion des carbonates est à peu près la même. Tout cela s'explique par la nature des terrains quaternaires délayés par les eaux de pluie. Ces eaux coulant sur des efflorescences de sel marin et de plâtre, ont dissous principalement le sel le plus soluble, c'est-à-dire le sel marin. La proportion des sulfates terreux est encore assez forte pour que l'eau du Chélif ne soit pas convenable pour les usages domestiques, et, du reste, elle renferme assez de sel marin pour être légèrement salée au goût. Mais cette eau, qui serait mauvaise pour l'homme, serait excellente pour l'arrosage des terres. On peut dire qu'elle renferme deux espèces d'amendements : 1° l'amendement salin en suspension, 2° l'amendement salin en dissolution. Elle présente donc un double avantage au point de vue agricole. Eau n° 22.

En aval du Ksar-Boghari, entre ce Ksar et la mer, l'eau du Chélif présente des différences de composition qui sont en rapport avec la nature des terrains traversés par les affluents nombreux qui se jettent dans le Chélif. Ainsi l'eau du Chélif recueillie au pont d'El-Kantara, renferme par kilog. 1g,3647 de matières salines. L'eau recueillie à Orléansville, le 3 janvier 1853, ne renferme par kilog. que 1g,182 de matières salines. Or, entre Boghar et Orléansville, le Chélif reçoit des affluents

considérables sortant du terrain tertiaire moyen et du terrain secondaire, et nous avons reconnu, à la suite de nombreuses analyses, que les eaux du terrain secondaire du Tell sont généralement plus pures et meilleures pour les besoins économiques, que les eaux des terrains plus modernes.

Eau n° 23. L'eau du Redir d'Aïn-Krechem (analyse n° 23) est la plus pure de toutes les eaux quaternaires qui ont été analysées. Elle ne renferme que 1g,4716 de matières salines par kilo. C'est de l'eau de pluie qui a couru simplement à la surface du sol et qui s'est accumulée dans une légère dépression. Comme elle a été recueillie peu de temps après qu'il avait plu, c'est à cela sans doute qu'elle doit sa plus grande pureté relative.

Eaux n°s 25, 26 et 27. Les eaux n°s 25, 26, 27, ont été recueillies à la profondeur de 8 mètres dans des puits creusés dans l'oasis nord de Laghouat. Elles renferment 2g,1360 à 2g,5158 de sels divers par kilog. Elles sont plus impures que l'eau de l'Oued-Mzi (analyses n°s 17 et 18). Les eaux d'infiltration de cette rivière contribuent sans doute à l'alimentation des puits de l'oasis nord; mais l'augmentation des matières salines dans l'eau des puits est due à la grande richesse en sulfates des terrains composant cette oasis. Les habitants de Laghouat ont sans doute reconnu eux-mêmes que l'eau de la rivière était meilleure pour les usages domestiques que celles des puits de l'oasis nord, car ils ne recourent à l'eau de ces puits que lorsque le canal de dérivation de l'Oued-Mzi est à sec.

L'eau n° 28 a été recueillie à la profondeur de 15 mètres dans le seul puits qui existe dans l'oasis sud de Laghouat. Elle contient 0g,9346 de sels divers par kilog. Elle est plus pure que les eaux des puits de l'oasis nord, parce que le puits de l'oasis sud est placé sur le bord de la rivière et alimenté sans doute par les infiltrations de cette dernière.

Les eaux de puits n°s 27 et 28 ont présenté une certaine quantité de silice combinée dans les sels solubles à l'eau après évaporation à sec. En faisant le partage des bases et des acides dans ces sels solubles, on a supposé que cette silice était combinée à de la magnésie en excès qui restait après la saturation complète du chlore et de l'acide sulfurique.

5° Eaux potables dont l'origine géologique est inconnue, adressées par divers.

Sels divers par kilogramme d'eau.

NOMS DES SUBSTANCES.	EAU d'un puits de la Bobdeba chez les Beni Mzab recueillie en janvier 1856. (30)	EAU du puits de Bourkika recueillie à la porte Ouest le 26 sept. 1855. (31)	EAU de Cherchel source n° 2 de l'ancienne conduite recueillie le 29 mai 1856. (32)	EAU de Bou-Medfa 1re source de Kaddous recueillie le 29 mai 1856. (33)	EAU de Bou-Medfa 2e source de Kaddous recueillie le 29 mai 1856. (34)	EAU du puits de Bou-Medfa recueillie le 31 mai 1856. (35)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium.	0,2125	0,3376	0,0316	0,0598	0,0728	0,1576
Chlorure de magnesium.	0,0265	0,1581	0,0678	0,0434	0,0586	0,0198
Chlorures.	0,2390	0,4957	0,0994	0,1032	0,1314	0,1774
Sulfate de soude.	»	»	»	»	»	»
Sulfate de magnésie.	0,5045	0,1055	0,0184	0,0197	0,0128	0,0564
Sulfate de chaux.	0,1700	0,1537	0,0296	0,0245	0,0302	0,0082
Sulfates.	0,6745	0,2592	0,0480	0,0442	0,0430	0,0646
Carbonate de soude.	»	0,2648	0,0156	0,0217	0,0136	0,0964
Carbonate de magnésie.	0,1210	0,0287	0,0756	0,0287	0,0182	0,0426
Carbonate de chaux.	0,3050	0,1930	0,2200	0,1830	0,1460	0,[illegible]900
Carbonates.	0,4260	0,4865	0,3112	0,2334	0,2078	0,2290
Peroxyde de fer. Phosphates.	0,0150	0,0030 / »	0,0040	0,0050	0,0060	0,0020
Silice gélatineuse libre.	0,0550	0,1300	0,0020	0,0110	0,0060	0,0020
Silicate de magnésie.	»	»	»	0,0159	»	»
Matière organique.	indéterminée	indéterminée	indéterminée	indéterminée	indéterminée	indéterminée
Total des sels.	1,4095	1,2574	0,4646	0,4127	0,3948	0,4750
Densité.	1,0013	»	1,00075	»	»	1,0 07
Auteur.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.

Eau n° 29. L'eau du puits artésien de Tamerna, province de Constantine (analyse n° 29), a été recueillie immédiatement après la réussite du forage. Elle renferme une très-forte proportion de sels divers, 4g,5430 par kilog., ce qui lui assigne un rang très-médiocre, pour la qualité, parmi les eaux potables. Comme pour la plupart des eaux quaternaires, les sulfates et les chlorures dominent. Les sulfates forment à eux seuls 57 p. 100 du poids total des sels. L'eau de Tamerna est remarquable par la grande quantité de silice gélatineuse libre qu'elle renferme.

Eau n° 30. La Debdeba est un plateau coupé par l'Oued-Mzab et entouré de montagnes de calcaire cristallin (dolomitique sans doute) de 70 à 80 mètres de haut, entre les villes de Beni-Isguen et Melika, distantes l'une de l'autre d'environ 1 kilomètre.

Cette eau pourrait n'être qu'un mélange d'eaux quaternaires et secondaires du pays des Beni-Mzab.

Eaux n°s 31 à 35. Les eaux n°s 31 à 35 viennent du cercle de Cherchel; elles sont remarquables en ce qu'elles renferment du carbonate de soude en dissolution en même temps que des sulfates terreux. L'eau du puits de Bourkika (n° 31) est la moins pure de toutes. Elle contient 1g,2574 de sels divers par kilog. Les eaux n°s 32 à 35 ne contiennent que 0g,3948 à 0g,4750 de sels divers par kilogramme, et sont d'un bon emploi pour les usages domestiques.

L'eau n° 33 renferme de la silice en combinaison dans la solution aqueuse des sels après évaporation de l'eau première à siccité. On a admis que la silice était combinée à la magnésie qui restait après avoir saturé l'excès de chlore et d'acide sulfurique.

Ce silicate serait composé comme il suit :

	gr.
Magnésie	0,0079
Silice	0,0080
$(SiO^3)^2 BO^3$	0,0159

L'acide carbonique du carbonate alcalin a été dosé directement dans la solution aqueuse des sels après évaporation à sec de l'eau première. A cet effet, on a ajouté dans la liqueur du chlorure de barium. On a précipité ainsi du sulfate et du carbonate de baryte qu'on a séparés l'un de l'autre par de l'acide chlorhydrique étendu. La liqueur contenant le chlorure de barium, venant de la solution du carbonate, a été précipitée à

son tour par quelques gouttes d'acide sulfurique, et du poids du précipité ainsi obtenu, on a déduit l'acide carbonique correspondant.

§ III. *Analyses de sels marins.*

On a recherché successivement sur des prises différentes de matière : **Méthode d'analyse.**

1° L'eau hygrométrique au moyen de l'étuve de Gay-Lussac;

2° L'eau combinée au moyen de la calcination au rouge, en tenant compte de l'acide carbonique qui aurait pu se dégager;

3° Le résidu insoluble dans l'eau (on a opéré sur une quantité de matière variant de 10 à 30 grammes);

4° Les terres (chaux et magnésie) contenues dans la solution aqueuse donnée par 1 gramme de matière;

5° La soude dosée à l'état de chlorure au moyen de la baryte caustique par le procédé indiqué plus haut;

6° L'acide sulfurique;

7° Le chlore.

Pour reproduire la composition de la partie soluble dans l'eau, on a pris pour bases les combinaisons qui se présentent le plus fréquemment dans la nature. Tous les sels analysés se trouvant associés à des masses considérables de sulfate de chaux, on a supposé d'abord que la chaux trouvée était dans le sel à l'état de sulfate. L'excès d'acide sulfurique a été combiné à l'état de sulfate de magnésie. L'excès de magnésie a été combiné à l'état de chlorure de magnésium, et l'excès de chlore a été combiné à l'état de chlorure de sodium. Le poids de chlorure de sodium ainsi obtenu a été confirmé par la recherche de la soude.

L'analyse qualitative a démontré l'absence de la potasse, du brome et de l'iode.

Les sels qui ont été analysés sont en général très-riches en chlorure de sodium. Leur teneur est comprise entre 95,73 p. 100 et 98,42 p. 100. Il n'y a d'exception que pour le sel gemme blanc grisâtre du Djebel-Sahari (analyse n° 6), dont la teneur en chlorure de sodium est de 91,70 p. 100.

Analyses de sels marins.

NOMS DES SUBSTANCES.	DÉPÔT de sel blanc provenant des sources salées des Ouled Hedim. (1)	SEL BLANC cristallisé, provenant du Zahrez Rharbi, recueilli sous une nappe d'eau salée. (2)	SEL BLANC cristallisé, provenant du Zahrez Chergui, recueilli sous une nappe d'eau salée. (3)	SEL GEMME blanc du Djebel Sahari. (4)	SEL GEMME blanc grisâtre du Djebel Sahari. (5)	SEL GEMME blanc grisâtre du Djebel Sahari. (6)	STALACTITE blanche de sel gemme du Djebel Sahari. (7)	DÉPÔT salin blanc de la source salée n° 1, s'échappant du flanc nord du Djebel Sahari. (8)	SEL GEMME blanc avec cristaux de sel jaunâtre du rocher de sel d'Aïn Hadjera. (9)
	gr.	gr	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium	0,9657	0,9842	0,9873	0,9834	0,9573	0,9170	0,9806	0,9735	0,9711
Chlorure de magnésium	»	0,0009	0,0011	0,0005	0,0009	0,0013	0,0010	traces	0 0006
Chlorure de calcium	»	»	»	»	0,0019	»	»	»	»
Chlorures	0,9657	0,9851	0,9884	0,9839	0,9601	0,9183	0,9816	0,9735	0,9717
Sulfate de magnésie	0,0010	0,0005	0,0002	0,0003	»	0,0016	»	traces	»
Sulfate de chaux	0,0148	0,0044	0,0048	0,0060	0,0106	0,0231	0,0142	0,0167	0,0087
Sulfates	0,0158	0.0049	0,0050	0.0063	0,0106	0,0247	0,0142	0,0167	0,0087
Carbonate de magnésie	0,0007								
Carbonate de chaux	0,0007	0,0031	0,0040	0,0120	0,0249	0,0541	0,0001	0,0018	0,0165
Peroxyde de fer	0,0006								
Sable et argile	0,0015								
Eau combinée	0,0150	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0055	0,0030	0,0030	0,0020
Eau hygrométrique		0,0040	0,0050	0,0030	0,0050	0,0010	0,0030	0,0040	0,0023
Total	1,0000	0,9981	1,0034	1,0062	1,0026	1,0036	1,0022	0,9990	1,0012
Auteur	DE MARIGNY.	SIMON.	SIMON.	SIMON.	SIMON.	VILLE.	SIMON.	SIMON.	SIMON.

Il existe chez les Ouled-Hedin, à 24 kilomètres est-nord-est de Boghar, des sources salées exploitées depuis un temps immémorial par les Arabes de cette tribu. Ces sources sortent d'un amas considérable de gypse intercalé dans les marnes crétacées. L'eau salée est conduite par de petites rigoles dans une série de petits bassins complétement indépendants les uns des autres. Par suite de l'évaporation de l'eau, le sel cristallise en petits cubes sur le fond des bassins. Il est recueilli par des femmes arabes au moyen de couffins en alpha. L'eau bourbeuse s'écoule à travers les mailles du couffin, et le sel reste sur le couffin débarrassé de la plus grande partie des impuretés qui le souillaient dans le bassin. Ce sel, bien égoutté et séché à l'air libre, renferme 96,57 p. 100 de chlorure de sodium. Il est donc assez pur. Sel n° 1.

Les sels des Zahrez-Rharbi et Chergui sont très-purs. Le premier renferme 98,42 p. 100 de chlorure de sodium. Le deuxième, 98,73 p. 100. Sels n°s 2 et 3.

Dans l'article relatif aux eaux salées qui les surnagent, on a fait connaître l'importance de ces salines naturelles qui sont susceptibles d'une exploitation des plus considérables. Malheureusement les débouchés manquent à leurs produits.

Le gîte de sel gemme du Djebel-Sahari, vulgairement appelé rocher de sel, est situé sur la rive droite de l'Oued-Halab à 22 kilomètres nord-est de Djelfa. On peut considérer ce gîte comme le résultat d'une éruption de boue éminemment argileuse, de gypse et de sel gemme, qui se serait fait jour à travers les assises superposées des terrains crétacés inférieur et tertiaire moyen. Le sel gemme est très-abondant dans le rocher de sel. Il y forme des escarpements presque verticaux qui atteignent 35 mètres de hauteur, et qui peuvent suffire à une exploitation à ciel ouvert, faite sur une grande échelle pendant de longues années. Ce sel est gris bleuâtre en masse et zoné de diverses nuances à peine distinctes les unes des autres. Il n'est pas stratifié. La face supérieure de l'amas de sel gemme est très-irrégulière; elle est recouverte presque partout par un magma composé de fragments d'une roche argileuse assez dure, diversement colorée en jaune, vert, rouge, violet, et de gros cristaux de gypse blanc et rouge, le tout disséminé dans une gangue argileuse grisâtre. Tout cet ensemble d'argile et de plâtre se ravine avec la plus grande facilité par l'action des agents atmosphériques. De plus, la dissolution du sel par Sels n°s 4, 5, 6, 7 et 8.



les eaux souterraines donne lieu à de grands vides qui s'effondrent de temps en temps et produisent à la surface du gîte des entonnoirs et des crevasses plus ou moins larges et plus ou moins profondes. Toutes ces causes réunies déterminent des accidents bizarres, fantastiques, qui font du rocher de sel un magnifique spectacle pour le voyageur qui est fatigué par la monotonie de la plaine uniforme de Zahrez.

Plusieurs sources salées très-chargées de sel marin sortent du rocher de sel et vont se jeter dans l'Oued-Malah. La composition de ces sources a été indiquée page 25, n°s 8 et 9. Il se forme sur les rives de ces sources des dépôts de sel blanc qui ont 3 à 4 centimètres d'épaisseur, et qui sont recueillis par l'intendance militaire pour les besoins des troupes occupant les postes de Laghouat, Djelfa et Boghar. L'intendance a fait disposer aussi auprès du lit de ces sources de grands bassins en argile damée où pénètrent et s'évaporent les eaux salées. Les dépôts de source, analyse n° 8, sont formés presque exclusivement de sel marin (97,35 p. 100). Ils ne contiennent que 0,18 p. 100 de matières terreuses, et 1,67 p. 100 de sulfate de chaux.

Les Arabes emploient de préférence le sel gemme qu'ils exploitent à ciel ouvert à l'aide de pics. Du reste, cette exploitation se fait sur une très-petite échelle, sans doute à cause de la grande dureté de la roche. La pureté du sel gemme varie avec sa couleur. Le sel blanc est très-riche en chlorure de sodium; sa teneur s'élève à 98,34 p. 100, analyse n° 4. Mais le sel gemme est souillé très-souvent soit par un mélange intime de matières terreuses qui lui donnent une couleur grise, soit par de petits noyaux de la même substance. La teneur en chlorure de sodium diminue alors. Elle est de 95,73 p. 100 (analyse n° 5), et de 91,70 p. 100 (analyse n° 6). Les matières terreuses étrangères au sel gemme sont essentiellement formés d'argile.

Les parois des grandes excavations naturelles qu'on observe sur le rocher de sel sont couvertes de belles stalactites blanches qui contiennent 98,06 p. 100 de chlorure de sodium (analyse n° 7). Il n'y a que 0,18 p. 100 de matières terreuses entraînées.

Sel n° 9. Le gîte de sel gemme d'Aïn-Hadjera est situé à 44 kilomètres ouest de Djelfa. Il est analogue par sa manière d'être à celui du Djebel-Sahari; seulement le sel s'y présente à ciel ouvert en masses moins considérables. Il forme un escarpement vertical de 4 mètres de hauteur sur 50 mètres environ de longueur. Il

est exploité à ciel ouvert par les Arabes des environs, mais du reste avec peu d'activité. Le sel qu'il fournit est assez pur; il renferme 97,11 p. 100 de chlorure de sodium (analyse n° 9). Les sources qui s'échappent des flancs de la masse saline paraissent moins abondantes et moins chargées de sel que celles qui sortent du Djebel-Sahari. On ne voit sur leurs bords que de faibles enduits de sel blanc trop minces pour être recueillis.

§ IV. *Analyses de roches gypseuses.*

Pour analyser les roches gypseuses, on a suivi généralement la méthode suivante; 10 grammes ont été traités par l'alcool ordinaire pour dissoudre les chlorures. On a dosé le chlore de cette dissolution et on l'a transformé par le calcul en chlorure du sodium. Ce n'est, il est vrai, qu'une hypothèse, mais elle est rendue vraisemblable par la composition des eaux potables. Comme il n'y a que des quantités très-faibles de chlorures, on a jugé inutile de doser directement la soude.

1 gramme de matière a été traité par l'eau pour le dosage de l'acide sulfurique.

1 gramme de matière a été traité par l'eau. La solution aqueuse a donné la chaux et la maghésie à l'état de sulfates. Le résidu insoluble a été traité par l'acide acétique pour le dosage des carbonates. Le nouveau résidu insoluble a été traité par l'acide chlorhydrique qui a donné le peroxyde de fer mélangé parfois d'alumine. Le sable quarzeux grossier a été dosé par décantation. L'eau a été dosée par la calcination au rouge sombre. On a eu soin d'humecter avant la pesée avec du carbonate d'ammoniaque pour reproduire le carbonate de chaux qui aurait pu être décomposé, et de calciner de nouveau au rouge sombre. Lorsque les carbonates terreux sont abondants dans les gypses diluviens, une quantité notable peut être entraînée par l'eau avec les sulfates et un peu de silice libre. Dans ce cas, il faut modifier la méthode précédente. On fait un dosage de la chaux totale en traitant la matière par l'acide chlorhydrique étendu. On calcule la chaux qui se combine à l'acide sulfurique, et on obtient par différence la chaux combinée à l'acide carbonique. Pour la roche manganésifère n° 4, on a traité successivement par l'eau l'acide acétique et l'acide chlorhydrique, et dans la dernière solution on a séparé le fer du manganèse.

NOMS DES SUBSTANCES.	GYPSE blanc situé auprès de la source salée des Ouled Hedim. (1)	GYPSE rose provenant de la transformation du calcaire crétacé du rocher de sel, du Djebel Sahari. (2)	GYPSE du Djebel Milah en couches puissantes. (3)	ROCHE gypseuse manganésifère en filon dans le calcaire secondaire de Laghouat. (4)	CARAPACE diluvienne gypseuse de la plaine des Zahreg. (5)	GYPSE farineux associé au travertin de Sidi Makrelouf. (6)	GYPSE diluvien de l'oasis nord de Laghouat. (7)	GYPSE diluvien recueilli auprès du marabout situé à 100 mèt. sud de Laghouat. (8)	ROCHE gypseuse traversée par le sondage du sol de Tamerna à 3m,04 de profondeur Province de Constantine. (9)	ROCHE gypseuse traversée par le sondage de Tamerna, de 3m,05 à 3m,34. Province de Constantine. (10)	ROCHE gypseuse traversée par le sondage de Tamerna, de 3m,06 à 3m,70. Province de Constantine. (11)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr	gr.	gr.	gr.
Acide sulfurique.	0,4588	0,4576	0,4597	0,2498	0,2880	0,3846	0,2572	0,1440	0,16153	0,2069	0,0519
Chaux.	0,3211	0,3203	0,3290	0,1748	0,2016	0,2693	0,1999	0,1008	0,11340	0,1456	0,0363
Sulfate de chaux	0,7799	0,7779	0,7887	0,4246	0,4896	0,5539	0,4371	0,2448	0,27493	0,3525	0,0882
Acide sulfurique.	»	0,0101	0,0093	0,0021	0,0849	0,0013	0,0028	0,0003	»	»	»
Magnésie.	»	0,0052	0,0048	0,0011	0,0438	0,0024	0,0015	0,00015	»	»	»
Sulfate de magnésie	»	0,0153	0,0141	0,0032	0,1287	0,0037	0,0043	0,00045	»	»	»
Chlorure de sodium.	0,0028	0,0028	»	traces	0,0061	0,00006	0,0029	»	0,00177	0,0011	0,0045
Carbonate de chaux.	0,0045	»	0,0020	0,2540	0,0290	0,0930	0,3770	0,1900	»	»	0,1649
Carbonate de magnésie.	0,0035	»	»	0,0197	»	0,0058	0,0076	0,0138	0,00830	0,0024	0,0632
Carbonate de manganèse.	»	»	»	traces	»	»	»	»	»	»	»
Oxyde de cuivre.	»	»	»	traces	»	»	»	»	»	»	»
Peroxyde de manganèse	»	»	»	0,0600	»	»	»	»	»	»	»
Peroxyde de fer et alumine.	0,0010		0,0010	0,0270		0,0060		0,0050		0,0130	0,0840
Argile.	»	0,0190	0,0020	0,0160	0,1420	0,0550	0,0038	0,0450	0,62900		
Sable quartzeux.	0,0010	»	»	0,0090			0,0200	0,4300		0,5590	0,5460
Silice gélatineuse soluble dans l'eau.	»	»	»	0,0065		0,0030	0,0020	»			
Eau hygrométrique.	0,0030	0,0050									
Eau combinée.	0,2070	0,1780	0,2050	0,1108	0,2037	0,1800	0,1142	0,0715	0,08400	0,0730	0,0400
Total.	1,0027	0,9980	1,0128	0,9808	0,9991	1,00196	1,0031	1,00055	0,99800	1,0010	0,9908
Densité.	2,272	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Auteur.	DE MARIGNY	SIMON	VILLE.	VILLE.	SIMON.	VILLE.	VILLE.	DE MARIGNY	VATONNE.	VATONNE.	VATONNE.

Les gypses nos 1, 2 et 3 appartiennent aux terrains secondaires. Ils sont très-purs, puisqu'ils contiennent 77,79 à 78,87 p. 100 de sulfate de chaux supposé anhydre. Le gypse pur en renferme 77,077 p. 100. Gypses nos 1, 2, 3.

Le gypse n° 1 forme un amas considérable intercalé dans les marnes crétacées. Il est sans stratification apparente. C'est du pied de cet amas que sortent les sources salées des Ouled-Hédim. Le gypse lui-même ne renferme que très-peu de sel marin (0,0028).

Le gypse n° 2 forme une espèce de chapeau au-dessus du sel gemme du Djebel-Sahari. Il est stratifié et provient sans doute de la transformation du calcaire crétacé en sulfate de chaux par des vapeurs d'acide sulfurique et d'eau. Ce gypse ne contient que 0,1780 d'eau combinée. Cette eau ne suffit pas pour produire du sulfate de chaux hydraté $SO^3CaO + 2HO$. Ce gypse paraît être un mélange de sulfate de chaux hydraté et de sulfate anhydre. Ce dernier forme environ 10 p. 100 du poids de la roche.

Le gypse crétacé du Djebel-Mila forme un grand dépôt stratifié de 14 kilomètres de long sur 4 kilomètres de largeur moyenne. Il est dur, blanc, à structure saccharoïde; il présente au milieu de sa masse des globules sphériques de 1 centimètre de diamètre, formés d'aiguilles de sulfate de chaux rayonnant du centre à la circonférence.

La roche gypseuse manganésifère n° 4 forme des filons irréguliers au milieu du calcaire crétacé de Laghouat. Cette roche est assez remarquable par sa composition. Au premier aspect, on la prendrait pour un minerai de manganèse, et cependant elle n'en contient que 0,08. Elle se compose principalement de gypse hydraté qui provient sans doute de puissantes roches de plâtre qui existent dans le terrain secondaire de Laghouat. Gypse n° 4.

Les gypses nos 5, 6, 7, 8 appartiennent aux divers dépôts quaternaires compris entre Boghar et Laghouat. Ils sont généralement faciles à écraser entre les doigts comme de la farine; ils sont très-impurs. Leur teneur en sulfate de chaux anhydre varie entre 0,2448 et 0,4896. On peut les considérer comme des mélanges de gypse hydraté, de sulfate de magnésie, de carbonates terreux, d'argile et de sable. Ils renferment en outre de faibles quantités de chlorure de sodium et de silice gélatineuse libre soluble dans l'eau, ce qui explique la présence de la silice en proportion souvent assez notable dans les eaux des terrains quaternaires. Gypses nos 5, 6, 7, 8.

Gypses n° 9, 10, 11.

Les roches n° 9, 10, 11 viennent des débris extraits à diverses profondeurs dans le sondage de Tamerna, province de Constantine. Elles renferment des quantités notables de sulfate de chaux variant de 0,0882 à 0,3525.

Le résidu insoluble dans l'eau est essentiellement formé de sable quartzeux. Cependant on y trouve des quantités variables d'argile et de carbonates de chaux et de magnésie.

La comparaison des analyses n° 5 à 11 montre que le sulfate de chaux hydraté est un des principaux éléments des terrains quaternaires des provinces d'Alger et de Constantine. Le même effet se reproduit pour les terrains quaternaires de la province d'Oran. On peut prévoir dès lors que les eaux de ces régions doivent être éminemment séléniteuses.

§ V. *Analyse des roches.*

Dix grammes de matière ont été consacrés à la recherche des sulfates solubles et dix grammes à la recherche des chlorures solubles.

Ces sulfates et chlorures sont en général en très-minimes proportions.

Un gramme de matière a été consacré à l'analyse ordinaire. Les calcaires et les grès ont été attaqués par l'acide acétique. Les dolomies ont été attaquées par l'acide chlorhydrique étendu. On a recherché dans la solution acide les bases chaux, magnésie, oxydes de fer et de manganèse. Le résidu insoluble dans l'acide acétique a été traité par l'acide chlorhydrique, et l'on a recherché dans la solution le fer et l'alumine. Le sable quartzeux a été dosé par décantation. Par la calcination au blanc, on a eu les poids collectifs de l'eau et de l'acide carbonique.

Quand il n'y a que des traces de carbonate de magnésie, on peut avoir le poids de l'eau en calcinant la matière longtemps au rouge sombre. Mais ce procédé est inapplicable aux dolomies qui seraient mélangées d'argile et de sulfate de chaux, parce que le carbonate de magnésie se décompose à une température inférieure au rouge sombre.

5° Analyses de roches.

NOMS DES SUBSTANCES.	MARBRE translucide du Frais-Vallon aux environs d'Alger. (1)	DOLOMIE du Djebel Senelba aux environs de Djelfa. (2)	CALCAIRE secondaire mêlé de jaune et de rose du Djebel Senelba. (3)	CALCAIRE secondare vert clair enclavé dans le rocher de sel du Djebel Sahari. (4)	CALCAIRE secondaire ferrugineux du Djebel Mila. (5)	CALCAIRE dolomitique du terrain secondaire de Laghouat. (6)	CALCAIRE diluvien rougeâtre de l'oasis nord de Laghouat. (7)	CALCAIRE diluvien recueilli à deux lieues sud de Laghouat. (8)	GRÈS calcaire secondaire du Djebel Moudlous. (9)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorures	»	0,00118	traces.	traces.	traces.	0,00049	0,00008	traces.	0,00012
Sulfate de chaux	traces.	0,06017	»	»	0,00257	»	0,00076	0,00046	0,00496
Carbonate de chaux	0,9720	0,536	0,9370	0,7500	0,5921	0,64000	0,84410	0,88770	0,88770
— de magnésie	0,0265	0,434	0,0069	0,0121	0,0068	0,35540	0,01810	0,03640	0,00450
— de fer	0,0029	0,013	»	»	traces.	»	»	traces.	traces.
— de manganèse	0,0015	»	»	»	»	»	»	»	»
— de cuivre	traces.	»	»	»	»	»	»	»	»
Pyrite de cuivre		»	»	»	»	»	»	»	»
Peroxyde de fer		»			0,0380	0,00200	0,01300		
Argile	0,0005 (*)	0,017 (**)	0,0480	0,2220	0,1250	»	0,05600	0,02100	0,12500
Silice gélatineuse		0,007			»	»	»		
Sable quartzeux	»	»	»		0,2230	0,00200	0,01000	0,03300	0,58500
Eau	traces.	traces.	0,0065	0,0107	0,0059	»	0,01800	0,02000	traces.
Total	1,0034	1,00835	0,9984	1,0008	0,99337	0,99989	0,99004	0,99856	1,00398
Auteurs	SIMON.	VILLE.	SIMON.	SIMON.	VILLE.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	VILLE.	VILLE.

(*) Contient un peu de mica. — (**) Soluble dans l'eau.

Gypses n°s 9, 10, 11.

Les roches n°s 9, 10, 11 viennent des débris extraits à diverses profondeurs dans le sondage de Tamerna, province de Constantine. Elles renferment des quantités notables de sulfate de chaux variant de 0,0882 à 0,3525.

Le résidu insoluble dans l'eau est essentiellement formé de sable quartzeux. Cependant on y trouve des quantités variables d'argile et de carbonates de chaux et de magnésie.

La comparaison des analyses n°s 5 à 11 montre que le sulfate de chaux hydraté est un des principaux éléments des terrains quaternaires des provinces d'Alger et de Constantine. Le même effet se reproduit pour les terrains quaternaires de la province d'Oran. On peut prévoir dès lors que les eaux de ces régions doivent être éminemment séléniteuses.

§ V. *Analyse des roches.*

Dix grammes de matière ont été consacrés à la recherche des sulfates solubles et dix grammes à la recherche des chlorures solubles.

Ces sulfates et chlorures sont en général en très-minimes proportions.

Un gramme de matière a été consacré à l'analyse ordinaire. Les calcaires et les grès ont été attaqués par l'acide acétique. Les dolomies ont été attaquées par l'acide chlorhydrique étendu. On a recherché dans la solution acide les bases chaux, magnésie, oxydes de fer et de manganèse. Le résidu insoluble dans l'acide acétique a été traité par l'acide chlorhydrique, et l'on a recherché dans la solution le fer et l'alumine. Le sable quartzeux a été dosé par décantation. Par la calcination au blanc, on a eu les poids collectifs de l'eau et de l'acide carbonique.

Quand il n'y a que des traces de carbonate de magnésie, on peut avoir le poids de l'eau en calcinant la matière longtemps au rouge sombre. Mais ce procédé est inappliquable aux dolomies qui seraient mélangées d'argile et de sulfate de chaux, parce que le carbonate de magnésie se décompose à une température inférieure au rouge sombre.

5° Analyses de roches.

NOMS DES SUBSTANCES.	MARBRE trans-lucide du Frais-Vallon aux environs d'Alger. (1)	DOLOMIE du Djebel Senelba aux environs de Djelfa. (2)	CALCAIRE secondaire mêlé de jaune et de rose du Djebel Senelba. (3)	CALCAIRE secondaire vert clair enclavé dans le rocher de sel du Djebel Sahari. (4)	CALCAIRE secondaire ferru-gineux du Djebel Mila. (5)	CALCAIRE dolo-mitique du terrain secondaire de Laghouat. (6)	CALCAIRE diluvien rougeâtre de l'oasis nord de Laghouat. (7)	CALCAIRE diluvien recueilli à deux lieues sud de Laghouat. (8)	GRÈS calcaire secondaire du Djebel Mondiona. (9)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorures	»	0,00118	traces.	traces.	traces.	0,00049	0,00068	traces.	0,00012
Sulfate de chaux	traces.	0,06017	»	»	0,00257	»	0,00076	0,00046	0,00496
Carbonate de chaux	0,9720	0,536	0,9370	0,7500	0,5921	0,64000	0,84410	0,88770	0,88770
— de magnésie	0,0265	0,434	0,0069	0,0121	0,0068	0,35540	0,01810	0,03640	0,00450
— de fer	0,0029	0,013	»	»	traces.	»	»	traces.	traces.
— de manganèse	0,0015	»	»	»	»	»	»	»	»
— de cuivre	traces.	»	»	»	»	»	»	»	»
Pyrite de cuivre		»	»	»	»	»	»	»	»
Peroxyde de fer	0,0005 (*)	»			0,0380	0,00280	0,01300		
Argile		0,017 (**)	0,0480	0,2220	0,1250	»	0,05600	0,02100	0,12500
Silice gélatineuse		0,007			»	»	»		
Sable quartzeux	»	»	»		0,2230	0,00200	0,01000	0,03300	0,58500
Eau	traces.	traces.	0,0065	0,0107	0,0059	»	0,01200	0,02000	traces.
Total	1,0034	1,00835	0,9984	1,0008	0,99337	0,99989	0,99004	0,99856	1,00398
Auteurs	SIMON.	VILLE.	SIMON.	SIMON.	VILLE.	DE MARIGNY.	DE MARIGNY.	VILLE.	VILLE.

(*) Contient un peu de mica. — (**) Soluble dans l'eau.

Marbre n° 1. Le gîte de marbre du Frais-Vallon est situé sur la rive droite ce ce ravin, à 2 kilomètres ouest d'Alger. Il constitue un filon enclavé dans les terrains cristallins de la Bouzaréah. Son affleurement a la forme d'une grosse lentille de 24 mètres de long et de 2m,50 d'épaisseur maximum, dirigée approximativement du nord-ouest au sud-est et plongeant au nord-est d'environ 45°. Ce marbre est le résultat de l'agglomération de longues aiguilles prismatiques constituant des faisceaux coniques qui s'entrecroisent en tous sens. Il est susceptible de prendre un beau poli et il présente alors l'aspect d'une mosaïque d'un gris clair à tons variés produisant un joli effet. Il se laisse tailler en larges plaques et peut être façonné au tour. Si ce marbre était goûté par l'industrie, il serait facile de l'exploiter à peu de frais, à cause de sa proximité d'Alger. On peut en faire des tables, des consoles, des cheminées, des vases, des colonnes, et l'employer avec avantage comme soubassement dans la décoration intérieure des monuments publics.

Dolomie n° 2. La dolomie n° 2 forme des couches puissantes dans la chaîne du Djebel-Senelba. Elle renferme :

Chaux.	0,300	Contenant oxygène	0,0857	1
Magnésie.	0,2099	—	0.0813 }	1
Protoxyde de fer..	0,0081	—	0,0015 }	

Ce qui donne à cette dolomie la composition ordinaire



$$CO^2CaO + CO^2MgO.$$

Calcaire n° 3. Le calcaire n° 3 est associé en couches régulières à la dolomie du Djebel-Senelba. Il donnerait par la cuisson de la chaux grasse.

Calcaire n° 4. Le calcaire n° 4 est à structure cristalline; il est enclavé par grandes lentilles dans le rocher de sel du Djebel-Sahari.

Calcaire n° 5. Le calcaire secondaire du Djebel-Mila, analyse n° 5, est un des calcaires qui renferme le plus de sulfate de chaux. L'on sait que, dans le massif du Djebel-Mila, il y a de puissantes couches de plâtre qui sont contemporaines du terrain secondaire.

La substance analysée renferme peu de magnésie; c'est un calcaire argilo-sableux qui, par la cuisson, donnerait probablement de la chaux hydraulique.

Calcaire dolomitique n° 6. Le calcaire dolomitique de Laghouat renferme :

Chaux.	0,3584	contenant oxygène	0,1024 }	1
Magnésie.	0,1720	—	0,0667 }	
Acide carbonique.	0,4654	—	0,3384	2

Les proportions respectives d'oxygène dans la chaux et la magnésie ne sont pas dans un rapport simple, de sorte qu'on ne peut considérer cette roche que comme un calcaire dans lequel une certaine quantité de chaux a été remplacée par une quantité équivalente de magnésie.

Les calcaires diluviens des environs de Laghouat ont l'aspect du calcaire d'eau douce. Ils sont formés dans la croûte la plus extérieure de zones parallèles colorées en brun-rougeâtre. Ce sont des échantillons de cette croûte que l'on a analysés. Ils contiennent très-peu de chlorures et de sulfates terreux, précisément parce que, étant tout à fait à l'extérieur, ils ont été délavés pendant longtemps par les eaux de pluies. Calcaires diluviens nos 7 et 8.

Le grès calcaire du Djebel-Moudloua (environs de Laghouat) peut être considéré comme un mélange de sable quartzeux, de carbonates terreux et d'argile. C'est la plus riche en sulfate de chaux parmi toutes les roches analysées. Le Djebel-Moudloua, de même que le Djebel-Mila, renferme une épaisse formation de gypse, qui est contemporain des autres roches, ce qui explique la présence du sulfate de chaux dans les grès. Grès n° 9.

§ VI. *Analyses d'argiles et de silicates terreux divers.*

La matière est traitée successivement :

1° Par l'eau pour enlever les sels solubles, chlorures et sulfates ; Méthode d'analyse.

2° Par l'acide acétique pour enlever les carbonates terreux ;

3° Le résidu insoluble est fondu au creuset de platine avec quatre fois son poids de carbonate de soude, et l'on a séparé par les méthodes connues la silice, l'alumine, le peroxyde de fer, la chaux et la magnésie.

La soude de la roche feldspathique de Tichi a été dosée par la fusion de la matière avec du nitrate de plomb.

La mésotype de Dellys se dissout dans l'acide chlorhydrique et l'on a dosé directement la soude dans la solution.

L'eau a été dosée en calcinant la matière au rouge et tenant compte de l'acide carbonique qui pouvait être dégagé.

L'eau hygrométrique a été dosée à part en desséchant la matière à l'étuve de Gay-Lussac.

NOMS DES SUBSTANCES.	MARNE schisteuse secondaire, traversée par l'amas de sel gemme du Djebel Sahari. (1)	MAGMA argileux associé au sel gemme du Djebel Sahari. (2)	ARGILE rose dure, en fragments enclavés dans le magma associé au sel gemme du Djebel Sahari. (3)	ARGILE gris-violacée en fragments enclavés dans le magma argileux associé au sel gemme du Djebel Sahari. (4)	ARGILE violacée dure, en fragments enclavés dans le magma argileux associé au sel gemme du Djebel Sahari. (5)	ARGILE verdâtre dure, en fragments enclavés dans le magma argileux associé au sel gemme du Djebel Sahari. (6)	MÉSOTYPE enclavée dans les basaltes de Dellys. (7)	ROCHE feldspathique de Tichi, province de Constantine. (8)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium......	traces	0,00583	0.00367	0.01550	0,01460	0,00890	»	0,0093
Chlorure de magnésium...	»	0,02301	»	»	»	»	»	»
Chlorures.....	traces	0,02884	0.00367	0,01550	0,01460	0,00890	»	0,0093
Sulfate de chaux........	»	0,01904	0,01489	»	0,15500	»	»	»
Sulfate de magnésie......	»	0,01271	»	»	»	»	»	»
Sulfates.....	»	0,03175	0,01489	»	0,15500	»	»	»
Carbonate de chaux......	0,16000	0,08700	0,01200	0,01200	0,01800	0,00200	»	0,0673
Carbonate de magnésie....	0,03683	»	traces	0,02070	0,02280	»	»	0,0930
Carbonate de fer........	»	»	»	»	0,00725	0,00400	»	0,0246
Carbonates.....	0.19683	0,08700	0,01200	0,03270	0,04805	0,00600	»	0,1858
Sable quartzeux........							»	»
Silice gélatineuse.......				0,61270	0,48800	0,41000	0 4650	0,5906
Alumine............				0,16000	0,14700	0,20500	0,2630	0,1569
Protoxyde de fer........	0,78200	0,78800	0,95300	0,06750	0,05760	0,07650	»	»
Protoxyde de manganèse...				traces	traces	traces	»	»
Chaux.............				»	»	0,01960	0,0073	»
Magnésie...........				0,05800	0,02380	0,18900	»	»
Soude.............	»	»	»	»	»	»	0,1520	0,0310
Eau hygrométrique......	0,00700	0,00600	0,00500	0,00400	0,00700	0,00800	»	»
Eau combinée.........	0,01359	0,05772	0,00900	0,05670	0,06520	0,07200	0,1100	0,0075
Total.....	0,99942	0,99931	0,99756	1,00710	1,00625	0,99500	0,9973	0,9931
Densité............	»	»	»	2,575	2,572	2,604	2,195	2,518
Auteur............	SIMON.	SIMON.	SIMON.	SIMON.	SIMON.	SIMON.	VATONNE.	DE MARIGNY.

La marne schisteuse n° 1 est la roche à travers laquelle le rocher de sel du Djebel-Sahari a fait irruption. Elle est très-dure, bacillaire et de couleur grise. Elle ne renferme que des traces indosables de chlorures et de sulfates, 0,1960 de carbonates terreux, 0,78 d'argile et 0,02059 d'eau. N° 1.

La roche n° 2 est le magma argileux associé au sel gemme du Djebel-Sahari. Il renferme, à l'état de dissémination, de nombreux petits cristaux lenticulaires de gypse hydraté et des fragments à angles vifs des roches argileuses n°s 3, 4, 5, 6. Ces derniers fragments ont 6 à 7 centimètres de côté. N°s 2, 3, 4, 5, 6.

Les roches n°s 2, 3, 4, 5, 6 contiennent des quantités variables de chlorures alcalins et de sulfates terreux. La proportion de ces derniers s'élève à 0,155, roche n° 5. La proportion des carbonates terreux varie de 0,012 à 0,087. Ces roches diffèrent donc de la marne secondaire en ce que les chlorures et les sulfates y sont plus abondants et les carbonates moins abondants que dans cette marne. Du reste, l'aspect physique est bien différent dans les roches propres au rocher de sel et dans la marne encaissante.

La partie argileuse des roches n°s 4, 5, 6 est un silicate multiple contenant principalement de l'alumine, du protoxyde de fer et de la magnésie, avec des traces de chaux et de protoxyde de manganèse.

Dans toutes ces combinaisons, il existe un rapport simple entre l'oxygène des bases RO et celui de l'alumine Al^2O^3.

Ce rapport est	:: 1 : 1	dans la roche n°	6
—	:: 1 : 2	—	4
—	:: 1 : 3	—	5

Les recherches de M. Ebelmen ont prouvé que les silicates peuvent être décomposés à la longue par l'acide carbonique contenu dans les eaux d'infiltration.

Le terrain longeant la mer, à l'ouest de la pointe de Dellys, est formé presque en entier de basalte, depuis cette pointe jusqu'à l'embouchure de l'Oued-Sabaou, sur 4 kil. de longueur. Le basalte présente généralement, le long de la mer, de grands escarpements noirâtres et verticaux sans trace apparente de stratification, et contre lesquels les vagues se brisent avec violence. Il renferme de petits cristaux de pyroxène noir et de péridot verdâtre, des zéolites blanches, des nodules de quartz opale et de chaux carbonatée rayonnée. On y voit aussi des filons irréguliers de carbonate de chaux cristallisée en Mésotype de Dellys n° 7.

larges lames. Ces filons ont une épaisseur variable de $0^m,05$ à $0^m,50$.

Près de Dellys, les basaltes sont divisés en blocs irréguliers et d'un volume très-variable par une multitude de fentes dans lesquelles on trouve des fragments d'un combustible minéral, sur lequel on reviendra plus bas.

Les zéolites sont blanches, à structure cristalline et rayonnée. Leur densité est de 2,195. Elles rayent le verre légèrement et très-fortement le carbonate de chaux. Par l'acide chlorhydrique, elles donnent de la silice en gelée. La composition et les propriétés de ces zéolites les rapprochent de la mésotype.

Roche feldspathique de Tichi, n° 8.

La roche feldspathique de Tichi a été envoyée à Alger pour servir à revêtir l'intérieur des fours à pain et autres fourneaux. Elle est blanche, à cassure grenue. Elle présente peu de résistance sous le choc du marteau et se réduit facilement en poussière. Elle est traversée par quelques veinules de fer carbonaté jaunâtre, et contient en outre quelques petits cristaux de fer pyriteux. Cette roche, soumise dans un creuset à l'action d'une haute température, devient très-légèrement vitreuse à la surface; mais l'intérieur de la roche prend une texture très-serrée et un éclat légèrement verdâtre. Elle présente alors beaucoup de dureté et fait feu sous le choc du briquet. Il est probable qu'elle serait d'un emploi avantageux pour la construction intérieure des fourneaux.

Les rapports qui existent entre la silice, l'alumine et la soude, peuvent faire considérer la roche de Tichi comme un feldspath pechstein analogue à ceux de Hewry ou de Porchappel.

§ VII. *Analyses de combustibles minéraux.*

On a suivi, pour l'analyse des combustibles, la méthode ordinaire indiquée par M. Berthier dans son *Traité des essais par voie sèche.*

Combustibles minéraux.

NOMS des substances.	Micaschiste coloré en gris par du graphite du Frais-Vallon. Alger.	Micaschiste coloré en noir par du graphite du Frais-Vallon. Alger.	Graphite de Gênes.	Combustible minéral en fragments isolés dans le basalte de Dellys.	Combustible minéral en fragments isolés dans le basalte de Dellys.	Houille de Collo, province de Constantine.	Combustible minéral de Djjelly.	ÉCHANTILLONS DIVERS DE LIGNITE TERREUX DE BLED BOHFROUR. (Cercle d'Orléansville.)											
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
Eau hygrométrique.	0,007			0,0110	0,0150	0,010		0,145	0,736	0,125	0,100	0,110	0,115	0,105	0,103	0,135	0,035	0,085	0,082
Matières volatiles bitumineuses.	0,025	0,0785	[illegible]	0,1506	0,3450	0,238	0,485	0,420	0,414	0,385	0,237	0,285	0,313	0,315	0,357	0,255	0,250	0,225	0,240
Eau combinée																			
Charbon fixe	0,968	0,9215		0,7930	0,6250	0,704	0,504	0,237	0,208	0,230	0,333	0,195	0,159	0,160	0,132	0,168	0,145	0,143	0,075
Cendres			0,1080	0,0525	0,0150	0,048	0,011	0,198	0,242	0,260	0,330	0,410	0,413	0,420	0,428	0,442	0,520	0,547	0,603
	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Charbon équivalent aux mat. volatiles.	»	»	»	0,126	0,176	0,137	0,1819	0,108	0,107	0,076	0,053	0,0887	0,0283	0,073	0,078	0,0385	0,0345	0,020	0,039
Charbon total	1,062	0,9307	0,7082	0,921	0,801	0,841	0,6859	0,345	0,315	0,306	0,386	0,2837	0,1873	0,233	0,210	0,2065	0,1795	0,163	0,114
Pouvoir calorifique.	6555	31025	6016	7176	6265	6578	5364	2007	2167	2400	3024	1577	1465	1527	1619	1558	1104	1277	893
Densité	2,902	2,631	»	1,30 à 1,36	1,255	»	1,13 à 1,26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Auteurs : (1), (2) et (3) VATONNE. — (4) à (19) DE MARIGNY.

Micaschiste graphiteux du Frais-Vallon, nos 1 et 2.

Il existe au Frais-Vallon, dans le massif des roches cristallines de la Bouzaréah, aux environs d'Alger, des schistes talqueux et micacés, colorés en gris par une faible quantité de graphite. Comme ces roches ont été prises pour du combustible minéral qu'on assimilait à la houille de bonne qualité, et qu'elles ont même donné lieu à quelques recherches et à une demande en concession, le service des mines a dû faire quelques analyses pour éclairer l'administration sur la véritable valeur de ces prétendus gîtes de charbon.

La roche n° 1, qui est la plus répandue au Frais-Vallon, ne renferme pas 1 p. 100 de charbon. Lorsqu'on la place sur des charbons ardents, elle dégage parfois une faible flamme bleue par suite de la combustion de la pyrite de fer qu'elle renferme.

La roche n° 2 n'est qu'un accident. Elle est tendre, se laisse couper facilement au couteau et tache en noir le papier. C'est la plus riche en carbone de toutes les substances graphiteuses provenant du Frais-Vallon : sa teneur ne dépasse pas 4 p. 100.

Le terrain de la Bouzaréah est formé de roches cristallines, granite, gneiss, schistes talqueux et micacés, calcaires saccharoïdes. On n'y a trouvé jusqu'ici aucun débris reconnaissable de végétaux ni d'animaux fossiles. Il n'offre aucun des caractères des terrains houillers, ni sous le rapport minéralogique, ni sous le rapport paléontologique.

Graphite de Gênes, n° 3.

On a placé auprès du micaschiste du Frais-Vallon l'analyse d'un graphite provenant de Gênes, afin qu'on puisse mieux voir combien les roches grises du Frais-Vallon diffèrent du véritable graphite.

Combustible minéral en fragments enclavés dans le basalte de Dellys, nos 4 et 5.

On rencontre aux environs de Dellys, dans les fentes d'une roche éruptive, des fragments isolés d'un combustible minéral présentant l'aspect brillant de certaines houilles et aussi de certains lignites. Ces échantillons se rapportent à deux variétés, l'une sèche, n° 4, l'autre bitumineuse, n° 5. La variété sèche renferme 0,0526 de cendres composées comme il suit :

Silice	0,0090
Alumine	0,0260
Oxyde de fer	0,0010
Sulfate de chaux	0,0059
Carbonate de chaux	0,0107
	0,0526

Placée en morceaux dans une capsule de platine chauffée par une lampe à alcool à double courant d'air, elle ne s'enflamme pas et rougit sans se consumer. Par la calcination en vase clos, elle ne donne pas de coke.

Le variété n° 5 ne contient que 0,015 de cendres; elle est grasse, lamelleuse, très-pure, d'un beau noir éclatant; elle s'allume et brûle avec facilité, à la simple flamme d'une bougie, en donnant une flamme blanche et vive, et répandant une fumée noire et épaisse dont l'odeur rappelle celle des lignites.

Par la distillation en vase clos, elle se boursoufle et produit un coke compacte et dur, ayant le brillant du fer métallique. Les échantillons de la variété bitumineuse sont beaucoup plus nombreux que ceux de la variété sèche. Ils constituent les uns et les autres des fragments à angles vifs de $0^m,04$ d'épaisseur maximum et d'une longueur de $0^m,06$ à $0^m,07$ au plus. Quoique la roche basaltique se présente sur plusieurs points aux environs de Dellys, on n'a encore trouvé de fragments de combustible que dans une seule localité, au cap Bengut. Ces fragments sont du reste fort rares, et il faut abattre des volumes assez considérables de roché pour en trouver quelqu'un.

La houille n° 6 a été adressée au laboratoire par M. le colonel de Neveu, à qui elle avait été remise par un Arabe prétendant l'avoir recueillie auprès de Collo. Houille de Collo, n° 6.

Cette houille est d'un beau noir, elle s'allume et brûle avec facilité, en donnant une flamme vive et blanche, et en répandant une fumée noire et épaisse. Par la calcination en vase clos, elle donne un coke boursouflé, compacte, ayant l'éclat métallique du fer. On n'a aucun renseignement sur la valeur du gîte qui a fourni l'échantillon analysé.

Le combustible minéral de Djijelli est d'un beau noir; il se divise en petits fragments compactes, mais très-friables, à cassure inégale, conchoïde et luisante. Par la distillation, il dégage du gaz inflammable, de l'eau acide et de l'huile empyreumatique. En brûlant, il répand une odeur très-forte, se rapprochant de celle que produit l'asphalte. Il donne une flamme blanche, longue et fuligineuse. Soumis à la distillation, il se ramollit, s'agglutine, se boursoufle considérablement et produit un coke très-léger, très-friable et d'un gris d'acier. Il se rapproche, par ses propriétés, des lignites désignés sous le nom de Jayet. Combustible minéral de Djijelli, n° 7.

Lignite terreux de Bled-Boufrour, environs d'Orléansville, nos 8 à 19.

Le bureau arabe d'Orléansville a signalé en 1855 l'existence d'un gîte de combustible minéral entre Ténès et Orléansville, dans une localité signalée sous le nom de Bled-Boufrour. Ce point est situé sur la limite des deux cercles à 12 kilomètres environ au nord d'Orléansville, à peu de distance de la rive droite de la rivière des Sables. Nous avons visité le gîte de Bled-Boufrour le 26 mai 1856, et nous avons reconnu l'existence d'une couche de combustible terreux, noirâtre, dont l'épaisseur varie de 2m,50 à 3 mètres, et qui est entaillée par un ravin sur 250 mètres environ de longueur. Cette couche, composée de divers lits parallèles entre eux, est enclavée en stratification concordante dans des marnes gris-bleuâtres du terrain tertiaire supérieur. En raison de cette différence de couleur, l'aspect de la couche charbonneuse présente au premier abord quelque chose de saisissant. En l'examinant avec soin, nous avons constaté qu'en certains endroits il y a des empreintes végétales carbonisées et que plusieurs parties de la roche, bien restreintes il est vrai, ont l'aspect brillant d'un véritable lignite. Mais la masse générale de la couche, sur les deux rives du ravin qui l'entaille, offre à l'œil une cassure terreuse et ressemble plutôt à de l'argile bitumineuse qu'à un véritable combustible. Elle rentre dans la variété des lignites terreux indiqués par M. Berthier dans son *Traité des essais par la voie sèche* (1).

§ VIII. *Essais de divers minéraux.*

Plusieurs minéraux ont été essayés pour cuivre et pour argent. Les teneurs en cuivre ont été recherchées au moyen du sulfocyanure de potassium par le procédé indiqué par M. l'ingénieur Rivot. Les teneurs en argent ont été obtenues par la voie sèche en fondant les minerais avec des proportions variables de litharge, de nitre et de carbonate de soude. Les culots de plomb ainsi obtenus ont été ensuite coupellés.

(1) Pour plus de détails sur ce gîte de combustible, voir le tome X des *Annales des mines*, 5e série, année 1856, p. 605.

Nos d'ordre.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	DOSAGE DU CUIVRE par le procédé Rivot.			ESSAIS POUR ARGENT à la litharge.			Auteur.
		Prises d'essais.	Cu^2S obtenu.	Teneur en cuivre p. 100.	Prises d'essais.	Argent contenu dans la prise d'essai.	Teneur en argent par tonne de cuivre métallique.	
	Minerais de cuivre gris de Mouzaïa :	gr.	gr.	gr.	gr.	milli.	kil.	
1	1er choix, galets......	1	0,285	22,75	10	7,3	3,209	Simon.
2	*Id.* poussières...	1	0,295	23,55	10	9,9	4,204	
3	2e choix, galets	1	0,232	18,52	10	5,0	2,700	
4	*Id.* poussières...	1	0,245	19,56	10	5,4	2,761	
5	3e choix, galets......	2	0,345	13,77	20	8,8	3,195	
6	*Id.* poussières...	2	0,408	16,28	20	10,4	3,194	
7	4e choix, galets......	4	0,323	6,44	30	11,6	5,993	
8	Matte brune	1	0,287	22,91	10	6,9	3,012	
9	Matte blanche.......	1	0,269	21,47	10	9,7	4,518	
10	Cuivre gris de l'Oued-Tabridia.........	2	0,786	31,375	40	111,2	8,860	
11	Cuivre gris de l'Oued-Bouman..........	2	0,307	12,250	40	45,2	9,224	
12	Cuivre gris de Milianah	»	»	20,010	20	4,00	1,998	de Marig.
13	Cuivre pyriteux de l'Oued Allelah..........	1	0,273	21,790	40	4,55	0,516	Simon.
14	*Id.*	2	0,363	14,490	40	4,00	0,690	

La teneur en argent par tonne de cuivre métallique contenue dans les minerais et mattes de Mouzaïa varie de 2k,700 à 5k,993 ; elle est en moyenne de 3k,564.

Ces minerais renferment en outre des traces d'or que l'on peut reconnaître par les réactifs, mais que l'on ne peut doser même en réunissant tous les boutons d'argent obtenus dans les essais nos 1 à 9.

Les cuivres cris de l'Oued-Tabridia et de l'Oued-Rouman sont très-riches en argent ; ils ne renferment pas d'or.

Le cuivre gris de Milianah est moins riche en argent que celui de Mouzaïa.

Les cuivres pyriteux de l'Oued-Allelah sont les minerais les plus pauvres en argent. Leur teneur varie de 0k,516 à 0k,690 par tonne de cuivre métallique.

Les minerais de cuivre de Mouzaïa et de l'Oued-Allelah sont exportés à Swansea (Angleterre). Les Anglais payent la valeur de l'argent contenu dans les minerais de Mouzaïa, mais non la valeur de l'argent contenu dans les minerais de l'Oued-Allelah.

sation est lente, et on doit veiller à ce qu'il n'entre jamais un excès d'air.

La recherche de l'oxygène libre dans les produits gazeux de cette carbonisation fut d'abord l'objet des analyses entreprises, mais il m'a paru, en outre, assez intéressant de comparer la composition des gaz pendant la première période et pendant la dernière.

La houille carbonisée provenait de la houille dite troisième du système de Bérard, exploitée au puits des Flaches.

Un certain nombre d'essais immédiats ont donné les résultats moyens suivants :

Calcination en vase clos (rapide). . .	Coke.	70 à 72 p. 100	60 p. 100 carbone. 40 à 12 p. 100 cendres.
	Matières volatiles,	28 à 30 p. 100.	
Distillation lente .	Coke.	75 p. 100.	
	Bitume.	15 à 18 p. 100.	
	Eau	3 à 5 p. 100.	
	Matières volatiles,	3 à 5 p. 100.	

Les gaz recueillis dans le même four, à 7 où 8 reprises, pendant une même opération, au moyen d'un canon de fusil et d'un aspirateur approprié, furent essayés pour oxygène sans en accuser de traces dosables.

Pour l'analyse quantitative faite avec l'eudiomètre Regnault, j'avais fait une première prise de gaz, 20 heures après l'introduction de la charge, et une seconde 40 heures plus tard, c'est-à-dire, un peu après la fermeture de la communication avec les chambres; voici les résultats donnés par les deux analyses :

	Après 20 heures.	Après 40 heures.
Acide carbonique	10,95	5,10
Hydrogène	1,96	16,40
Hydrogène protocarboné	2,18	»
Oxyde de carbone.	2,42	5,10
Azote	82,49	72,40
	100,00	100,00

La comparaison de ces résultats montre :

1° Que pendant la première période la somme des *gaz combustibles* qui s'échappent du four est bien moindre que pendant la seconde ;

2° La forte proportion d'azote qui se trouve dans les gaz après 20 heures montre que pendant la première période c'est partout l'hydrogène qui doit brûler pour produire beaucoup d'eau ;

3° Dans la seconde période, l'air arrive en moindre quantité dans le four; d'un autre côté, la carbonisation se faisant de haut en bas, et la plus grande chaleur régnant dans les couches supérieures de la charge, déjà carbonisées, les produits de la distillation des parties inférieures passent alors à travers une certaine hauteur de coke incandescent.

Ces circonstances suffisent à expliquer comment peuvent se faire : 1° La décomposition de l'eau par le coke, hydrogène et oxyde de carbone; 2° Le dédoublement des carbures d'hydrogène en carbone fixe et hydrogène. Ainsi s'expliquent les fortes proportions d'hydrogène et d'oxyde de carbone contenues dans le second gaz. Il faut tenir compte encore de l'eau qui s'échappe des fours, portée comme les gaz à une température d'au moins 1000 à 1.100°, eau que nous n'avons pas dosée, mais qui doit être en assez grande quantité d'après l'observation. On verra ainsi que les produits gazeux peuvent être utilisés, soit à cause de leur chaleur sensible, soit à cause de leur combustibilité. On n'a pas toujours auprès des fours des chaudières ou autres appareils à chauffer par ces flammes perdues, ce qui fait qu'à peu près partout on perd ainsi une quantité de chaleur considérable. A l'examen des résultats qui précèdent, un moyen assez simple me semble pouvoir être essayé pour rendre cette somme de chaleur *disponible* et *transportable.*

Si l'on faisait passer les produits gazeux sur une colonne de coke en fragments de 25 à 30 centimètres de hauteur et placés immédiatement dans la voûte du four, ce coke s'échaufferait rapidement, soit par rayonnement direct de la voûte, soit en prenant la chaleur sensible des gaz du four. Il arriverait vers le milieu ou vers la fin de la première période un moment où l'eau et l'acide carbonique des produits gazeux se transformeraient en oxyde de carbone et hydrogène, dont la quantité s'ajouterait à celle qui se trouve déjà dans les gaz du four : de là résulterait enfin un mélange, sans aucun doute, analogue à celui qu'on obtient dans les générateurs ordinaires; comme celui-ci ou comme le gaz d'éclairage, on pourrait peut-être alors le transporter à certaines distances, et sinon le faire servir à des usages industriels, au moins l'appliquer au chauffage domestique.

1° *Recherche du silicium dans une série de fontes envoyées par la compagnie de Terre-Noire.*

Les diverses fontes envoyées devant entrer en proportion variable dans les charges du puddlage, la compagnie de Terre-Noire tenait à savoir la teneur en silicium, afin de composer les charges de manière à ne pas dépasser un certain déchet pendant cette opération. Elle voulait aussi juger l'effet du mazéage sur la teneur du silicium. Voici les résultats de ces recherches :

N° 1.	Janon, fonte blanche	Silicium.	0,0360
N° 2.	— —	—	0,0255
N° 3.	— fonte grise	—	0,0432
N° 4.	Pouzin, fonte blanche	—	0,0143
N° 5.	— fonte truitée		0,0570
N° 6.	— fonte grise		0,0570
N° 7.	La Voulte, fonte blanche		0,0200
N° 8.	— fonte truitée		0,0528
N° 9.	— fonte grise à grains fins		0,0528
N° 10.	— fonte grise à gros grains (moulage)		0,0336
N° 11.	Pouzin coulé en plaques avec aspersion d'eau blanche		0,0092
N° 12.	Fin métal ordinaire		0,0096

Toutes ces teneurs en silicium sont sans doute fort élevées; mais il faut rappeler à côté de ces résultats que les minerais traités sont très-siliceux et que la silice y est intimement unie à l'oxyde de fer : ce sont des minerais dits *agathisés*. De tout temps la teneur en silicium a été élevée dans les fontes obtenues avec ces minerais sur les bords du Rhône et dans la Loire : c'est à cette circonstance qu'il faut attribuer l'application du mazéage au traitement de ces fontes pour fer. Tandis que la plupart des forges au charbon de terre se sont affranchies de cette opération, les forges de la Loire la regardent comme indispensable et la pratiquent couramment. Au reste, l'influence du finage ou mazéage est évidente si l'on compare la teneur en silicium du fin métal n° 12 avec celles des fontes mélangées n°s 3, 6, 9, dont il provenait.

Une dernière observation à faire sur les résultats précédents, c'est que la fonte grise à gros grains, pour moulage, de la Voulte, tient moins du silicium que la grise à grains fins. Il est bon d'ajouter qu'ici, comme dans plusieurs fonderies, on est parvenu à abaisser la teneur des fontes en silicium et, par conséquent, à augmenter leur ténacité, chose importante pour les moulages pour chemin de fer; on est, dis-je, parvenu à abaisser

la teneur en silicium en augmentant la proportion de castine des lits de fusion. Ainsi, le lit de fusion qui a donné le n° 10 était plus riche eu calcaire que celui du n° 9.

3° *Recherche du soufre et du silicium dans les aciers fondus à la houille et dans ceux fondus au coke.*

Depuis trois ou quatre ans les aciéries Jackson, Pétin, Gaudet, Debrye, Ballefin, ont substitué, au moins partiellement, à la fusion de l'acier au coke, la fusion à la houille. Au lieu de coûter 23 à 25 francs par 100 kilogrammes d'acier, la fusion ne coûte plus à la houille que 0f,16 à 0f,17. En présence de cette économie, la fusion à la houille devait donc rapidement se développer; mais plusieurs industriels prétendent avoir observé que le même acier fondu au coke perd de la qualité si on le fond à la houille; ils supposent que l'acier prendrait pendant la fusion à la houille, soit le soufre du combustible, soit le silicium des creusets. Cette hypothèse serait justifiée, suivant eux, par une durée de l'opération un peu plus grande à la houille qu'au coke, et par la proportion de soufre plus grande dans la houille que dans le coke. J'ai fait choisir deux échantillons d'acier fondu provenant du même acier cémenté : l'un avait été fondu à la houille et l'autre au coke. Dans l'un et l'autre je n'ai trouvé que des traces à peine dosables de silicium, et absence à peu près complète de soufre. D'un autre côté, on peut expliquer les petites différences que présentent es aciers à la houille et au coke, par le léger blanchiment qui paraît se produire dans la fusion à la houille, peut-être parce que l'opération se fait un peu plus lentement.

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

RAPPORTS, ET AVIS DE LA COMMISSION

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 18 AOUT 1856.

Présents : MM. Cordier, *président*, Mary, Thirria, Dupuit, Lorieux, Lechatelier, Cros, Couche, Fournel, *secrétaire*, Callon, *secrétaire-adjoint*.

Rapport du secrétaire-adjoint sur une explosion de chaudière à vapeur aux mines de Carmeaux (Tarn).

Dans la nuit du 14 au 15 décembre 1855, la chaudière de la machine d'extraction du puits du Ravin (concession de Carmeax, Tarn) a fait explosion. Le chauffeur, grièvement atteint par les débris du massif du fourneau et par les jets de vapeur et d'eau bouillante, a succombé au bout de quelques heures.

Un rapport, en date du 29 décembre, de l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, en résidence à Albi, rend parfaitement compte des causes de ce grave accident.

La chaudière, dont l'autorisation remontait à l'année 1832, et qui allait être remplacée incessamment, était composée d'un corps cylindrique et de deux bouilleurs en fonte. Ceux-ci étaient fermés, à la partie postérieure, au moyen de plaques épaisses ou tampons, entrant avec un jeu de quelques millimètres dans le bouilleur, et réunis avec du mastic de fonte sans aucun boulon. L'un de ces joints venant à céder, le tampon a

été violemment projeté dans un sens, tandis que le générateur, entraîné par le bouilleur, prenait en sens contraire un mouvement de recul dans lequel la tubulure du second bouilleur se déchirait et donnait une nouvelle issue à l'eau et à la vapeur.

L'accident qui nous occupe montre une fois de plus que le mastic de fonte, s'il convient pour empêcher des fuites, ne peut être employé avec sûreté pour prévenir les disjonctions des pièces entre lesquelles il est interposé; nous ajouterons que cet emploi est particulièrement vicieux dans des chaudières exposées à des dilatations et contractions fréquentes, surtout lorsque, comme dans l'espèce, les deux pièces réunies par le mastic sont d'épaisseur très-inégale.

On doit reconnaître, du reste, que le mactic de fonte est de moins en moins employé dans les chaudières à vapeur, et que lorsqu'on y a recours, c'est en général en ayant soin de consolider l'assemblage au moyen d'armatures qui présentent par elles-mêmes, indépendamment de la résistance propre du mastic, une solidité suffisante.

Quoi qu'il en soit, il peut y avoir quelque intérêt à porter à la connaissance des ingénieurs et des industriels l'accident dont il s'agit, afin de mettre en garde contre un système de construction essentiellement vicieux.

Je propose donc à la commission de déclarer :

1° Que les causes de l'explosion lui paraissent avoir été exactement appréciées par MM. les ingénieurs du département du Tarn dans les rapports, et avis du 29 décembre 1855 et date du 7 janvier suivant ;

2° Qu'il y a lieu d'insérer *in extenso*, ou par extrait, le susdit rapport dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts et chaussées*.

Rapport de l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

Dans la nuit du 14 au 15 décembre 1855, la chaudière de la machine à vapeur employée au puits du Ravin (concession des mines de Carmeaux) pour l'extraction de la houille et de l'eau, a fait explosion. Le chauffeur, renversé au milieu des débris et brûlé par les jets de vapeur et d'eau bouillante, a succombé au bout de trois heures.

M. Boisse, directeur de l'exploitation des mines, a averti le soussigné par une lettre reçue dans la soirée du 15; il l'informait en même temps qu'il avait donné des ordres pour que rien ne fût dérangé.

Dans la visite qui a été faite en suite de cet avis dans la matinée du 17, il a été constaté ce qui suit :

La chaudière se composait d'un corps cylindrique en fonte et de deux bouilleurs également en fonte; le corps cylindrique de la chaudière a un diamètre extérieur de $0^m,81$ et un diamètre intérieur de $0^m,74$, l'épaisseur de la fonte étant en moyenne de $0^m,035$. Le diamètre des bouilleurs est extérieurement de $0^m,32$ et intérieurement de $0^m,24$. Le corps cylindrique est terminé par des fonds presque plats venus de fonte avec lui. Les bouilleurs, au contraire, sont terminés par des fonds plats adaptés après la fonte. Le fond antérieur est fixé au corps des bouilleurs au moyen de quatre boulons. Cet assemblage, ainsi disposé de manière que le fond pût s'enlever lorsqu'on voulait nettoyer le bouilleur ou le visiter, paraît très-solide. Le fond postérieur est formé d'un disque en fonte de $0^m,23$ de diamètre, dé $0^m,12$ de longueur, et évidé au dedans en forme de calotte sphérique.

Il n'est fixé dans le bouilleur que par une couche de mastic de fer comprimé dans l'espace annulaire qui sépare la surface du tampon de la surface intérieure du bouilleur, et qui a environ 5 millimètres de largeur.

Chaque bouilleur communiquait avec la chaudière par une tubulure de $0^m,24$ de diamètre intérieur placé à $0^m,70$ environ de son extrémité antérieure.

La chaudière et les bouilleurs sont timbrés pour quatre atmosphères.

Cette chaudière était établie dans le compartiment C du plan (Pl. VIII, *fig*. 8 et 9).

Ce compartiment est fermé de tous les côtés par des murs élevés et ne communique avec la cour que par un passage étroit. En B est la machine à laquelle la chaudière fournissait la vapeur. En E et A se montaient une chaudière et une machine neuves destinées à remplacer les anciennes.

La partie postérieure de la chaudière ne devant pas être visitée était adossée au massif formant la base de la cheminée; ce massif était traversé seulement à la hauteur du foyer par un passage CD, par lequel on venait enlever les cendres légères que le courant de la flamme amenait jusque-là.

L'emploi de la chaudière a été autorisé le 1er juillet 1832.

Après l'explosion, le massif de maçonnerie sur lequel reposait l'appareil a été trouvé renversé; nous avons seulement pu reconnaître dans la partie inférieure quelques assises de briques indiquant la position du parement; le corps principal de la chaudière et le bouilleur situé du côté de la machine s'étaient avancés de 0m,77 en avant de ce parement. Le tampon qui fermait ce bouilleur à la partie postérieure avait été projeté contre la brique formant le passage CD, l'avait renversée et était venu heurter la maçonnerie des fourneaux sur lesquels on venait de monter un nouveau générateur destiné à remplacer la chaudière qui a fait explosion. La tubulure du second bouilleur était rompue dans un plan perpendiculaire à son axe, et ce bouilleur lui-même, dans le mouvement de recul qui paraissait avoir été donné à tout l'appareil, était resté de 0m,47 en arrière sur le corps principal de la chaudière et l'autre bouilleur.

L'appareil n'a, du reste, pas d'autres avaries que celles que nous venons de signaler.

Le mécanicien de service était seul dans le local de la machine; presque aussitôt après avoir entendu le bruit de l'explosion dont il ne s'expliquait pas la cause, il voit la machine s'arrêter; il court aussitôt chercher un autre ouvrier qui se trouvait dans le voisinage; mais la vapeur qui s'échappait par la tubulure rompue avait rempli tout le local de la chaudière et éteignait leurs lampes lorsqu'ils voulurent y pénétrer. Ce ne fut donc qu'après un certain temps qu'ils purent pénétrer auprès du malheureux chauffeur, qu'ils trouvèrent embarrassé sous les débris des maçonneries et tout brûlé par les jets de la vapeur.

Il paraît résulter de là que l'accident a eu lieu de la manière suivante : l'adhérence du mastic longtemps fatigué ayant fini

par devenir insuffisante pour résister à la tension de la vapeur, le tampon a été projeté.

La pression exercée alors sur la face opposée du bouilleur a mis en mouvement tout l'appareil qui avait parcouru un espace de $0^m,30$ environ, lorsque le second bouilleur a rencontré un obstacle qui n'a pas cédé immédiatement, et le choc a produit la rupture de la tubulure; le premier bouilleur et le corps cylindrique de la chaudière ont continué à avancer jusqu'à ce que la force vive développée sur eux par la vapeur ait été épuisée.

Le chauffeur qui, d'après le témoignage du mécanicien, venait de piquer le feu, aura été frappé par la chaudière et renversé au milieu des débris dans l'état où il a été retrouvé. Quant à l'obstacle qui a arrêté la marche du bouilleur et occasionné la rupture de la tubulure, nous ne l'avons pas retrouvé; il est probable qu'il aura été renversé par le même choc, et peut-être a-t-on été obligé de le déranger pour enlever le blessé de dessous les décombres.

Cet accident est tout à fait analogue à celui arrivé en 1841 à la chaudière du bateau *la Bretagne* (*Annales des ponts et chaussées* de 1842, 2e trimestre). Ici encore la projection du tampon s'explique parfaitement sans que la tension de la vapeur ait été portée au delà de la limite réglementaire.

En fait, nous avons pu constater que les deux soupapes dont la chaudière était pourvue jouaient librement; le contre-poids de la soupape de l'arrière était tombé, mais nous avons retrouvé à sa place celui de la soupape de l'avant; ce poids, celui du levier et celui de la soupape devaient faire équilibre sur la base de celle-ci, à une pression de $3^{atm},10$.

La chaudière était pourvue d'un manomètre qui, d'après la déclaration du mécanicien, indiquait au moment de l'accident trois atmosphères de pression effective; mais, contrairement aux articles 25 et 26 de l'ordonnance, ce manomètre était fermé et placé en vue du mécanicien et non du chauffeur. Environ trois semaines avant l'accident, comme il ne marchait pas, on avait, comme à l'ordinaire, nettoyé le tuyau de la vapeur avec un fil de fer; depuis, il était redevenu d'une mobilité parfaite; enfin, le mercure était parfaitement net. Le niveau de l'eau était indiqué par un flotteur situé à l'avant de la chaudière; la pompe alimentaire mise pour la machine était en mouvement au moment de l'accident.

La chaudière était dépourvue d'un flotteur d'alarme.

En résumé, nous avons dû constater l'inexécution des prescriptions de l'ordonnance de 1843, en ce qui concerne le manomètre et le flotteur d'alarme ; mais nous devons ajouter que, d'une part, il ne paraît pas que cette contravention ait eu aucune influence sur l'accident, qui est provenu de la construction défectueuse de la chaudière, construction acceptée comme satisfaisante à l'époque à laquelle elle remonte, et qui depuis avait été oubliée ; d'autre part, que cette chaudière était sur le point d'être remplacée par une autre, pour laquelle une autorisation avait été demandée et qu'on était occupé à placer. Cette circonstance, sans pouvoir justifier le non-accomplissement des prescriptions de l'ordonnance de 1843, peut tendre à l'excuser. En conséquence nous sommes d'avis qu'il n'y a pas lieu d'exercer des poursuites contre les propriétaires de la chaudière.

Albi, le 29 décembre 1855.

L'ingénieur ordinaire,
Signé Dusaussy.

L'ingénieur en chef soussigné adhère à l'opinion exprimée dans le rapport ci-dessus sur la cause probable de l'accident, et en adopte les conclusions.

Albi, le 7 janvier 1856.

Signé Canteloube de Marmiès.

La commission, après en avoir délibéré, approuve les conclusions du rapport du secrétaire-adjoint.

Le président de la commission centrale,
Signé L. Cordier.

ÉTUDES SUR LE MÉTAMORPHISME.

Par M. DELESSE, ingénieur des mines.

(*Suite.*)*

III. ROCHES GRANITIQUES.

J'étudie maintenant le métamorphisme produit au contact des roches granitiques, et je l'examine successivement dans les différentes roches encaissantes, en suivant le même ordre que précédemment. Ce métamorphisme s'observe souvent sur une grande échelle, en sorte qu'il sera moins nécessaire de le préciser par des exemples. Du reste, s'il accompagne généralement la cristallisation des roches granitiques, il ne paraît pas toujours résulter de leur action directe. En effet, lorsqu'on jette les yeux sur une carte géologique, on est frappé de la petite étendue que les roches granitiques éruptives présentent relativement aux roches métamorphiques. Quelquefois même le gneiss, le micaschiste, le schiste ardoisier et les divers schistes cristallins sont très-développés, et cependant il n'y a dans leur voisinage aucune roche granitique ni même aucune roche éruptive qui soit visible. Il est donc naturel de mettre en doute que ces roches métamorphiques aient été formées par une action directe des roches granitiques. Elles me paraissent avoir simplement participé à leur cristallisation. Elles résultent d'une action générale et non pas d'une action de contact. En un mot, elles ont été modifiées par le métamorphisme normal.

* Voir *Annales des Mines*, t. XII, p. 89 et 417.

On a vu que les laves et les roches trappéennes produisent à leur contact des effets qui sont toujours bien nets et bien distincts ; mais il en est autrement pour les roches granitiques. Les altérations éprouvées par les roches qui s'observent à leur contact sont précisément celles qu'on attribue au métamorphisme normal. Il y a une sorte de passage entre les deux métamorphismes, en sorte qu'il est difficile de faire la part de chacun d'eux.

Afin de me conformer à l'usage suivi jusqu'à présent, je décrirai d'ailleurs les caractères présentés par les différentes roches encaissantes qui sont en contact avec les roches granitiques ; mais je ferai connaître ensuite les altérations que chacune de ces roches éprouve par le métamorphisme normal. De cette manière, il sera possible d'apprécier à quoi se réduit en réalité le métamorphisme produit au contact immédiat des roches granitiques.

MINERAIS.

§ 128. *Altération nulle ou très-faible.* Minette et Minerais de fer ou de cuivre.

Il arrive quelquefois que des filons de roches granitiques traversent des minerais ; c'est, par exemple, ce qui a lieu pour la minette qu'on rencontre si fréquemment dans les mines de fer de Framont et dans les mines de cuivre de Chessy. Toutefois, il n'est pas à ma connaissance que l'altération subie par les minerais de fer ou de cuivre ait été décrite d'une manière spéciale, et, par conséquent, il est vraisemblable qu'elle est assez faible.

§ 129. *Métamorphisme normal dans les minerais.*

Toutefois, il en est autrement lorsque des minerais se trouvent dans des roches qui prennent postérieurement une structure cristalline ; car alors il s'opère entre les deux roches une réaction mutuelle qui est très-énergique. Cette réaction est surtout bien évi-

dente lorsque des roches granitiques ont cristallisé en enveloppant des minerais. Je citerai comme exemple le gneiss de la Scandinavie qui est métamorphique et qui renferme souvent des minerais de fer. Les phénomènes qui se sont produits au contact de ces minerais ont été décrits par MM. Breithaupt, Keilhau, Haussmann, Hisinger, Naumann, A. Erdmann, Durocher, Daubrée, Schéerer, et je ne m'y arrêterai pas plus longtemps. Les minerais de fer si riches qu'on exploite à l'île d'Elbe sont de même enclavés dans des roches granitiques; et les recherches de MM. Burat, Savi, Studer, Fournet montrent bien que des minéraux variés se sont développés au contact des deux roches. Des faits analogues s'observent encore à Framont.

Généralement les minerais de fer, enveloppés dans une roche devenue granitique ou dans une roche métamorphique quelconque, éprouvent eux-mêmes un métamorphisme bien évident. D'abord, le métamorphisme est caractérisé par le développement de leur structure cristalline. En outre, vers leur contact, il se forme divers minéraux, tels que le grenat, l'idocrase, l'yenite, le pyroxène, l'amphibole, l'épidote, etc. Ces minéraux sont généralement des silicates d'alumine de fer, de chaux et de magnésie. Ils paraissent résulter d'une combinaison directe du minerai de fer avec la roche silicatée qui l'enveloppe; ils sont surtout abondants lorsque cette dernière est associée à du calcaire.

En résumé, les roches granitiques peuvent traverser les minerais et ne leur faire éprouver qu'une altération assez faible. Quand des silicates se développent à leur contact, ils résultent le plus souvent d'un métamorphisme normal. § 120. *Résumé.* — *Roches granitiques et Minerais.*

COMBUSTIBLES.

Les combustibles se trouvent rarement en contact avec des roches granitiques ayant un caractère éruptif; on en connaît cependant quelques gisements. Il est d'ailleurs assez fréquent de rencontrer des combustibles dans les roches granitiques elles-mêmes et alors ces combustibles sont toujours à l'état de graphite ou d'anthracite.

§ 131. A. GRAPHITE.

Graphite dans les roches granitiques.

Le graphite s'observe souvent dans le voisinage des roches granitiques et jusque dans ces roches elles-mêmes. En effet, on l'a signalé dans des roches granitiques éruptives, telles que le granite des Pyrénées et la syénite de Saint-John dans le nouveau Brunswick (1).

Cependant le graphite s'est spécialement développé dans le gneiss et dans les roches qui lui sont associées telles que le micaschiste et le calcaire saccharoïde. Il provient alors du métamorphisme de couches charbonneuses; il se trouve à la périphérie de grands massifs granitiques ou plus généralement dans les roches métamorphiques. Sa formation paraît surtout devoir être attribuée au développement de la structure cristalline de la roche qui le renferme; elle est au contraire à peu près indépendante de la nature même de cette dernière, car on le rencontre dans les roches les plus variées.

§ 132. B. ANTHRACITE.

L'anthracite se montre fréquemment au voisinage de roches granitiques, et, dans un très-grand nombre de gisements, l'on a pu constater qu'il provient du métamorphisme de la houille. A Brassac, par exemple, la

(1) Dana. *Mineralogy*, third. ed., t. II, p. 30.

houille devient de plus en plus anthraciteuse à mesure qu'on se rapproche du gneiss qui forme le fond du bassin. Le métamorphisme de la houille en anthracite, peut donc avoir lieu, même près d'une roche granitiqne non éruptive comme le gneiss de Brassac.

Voici quelques gisements dans lesquels il a eu lieu sur une petite échelle, et seulement près du contact des roches granitiques.

Chassigny. — Dans un important travail sur les gîtes de houille de la Chapelle-sous-Dun, M. Drouot a signalé à Chassigny, un grand massif de porphyre qui enveloppe complétement un petit lambeau de terrain houiller (Pl. VI, *fig.* 2). Une carrière qui est ouverte sur 4 mètres de hauteur permet de bien voir le grès du terrain houiller. Ce grès s'exploite pour moellons et il est encore reconnaissable à ses empreintes végétales; dans le fond de la carrière, il est durci, métamorphosé et il commence même à passer insensiblement au porphyre. Ses couches sont brisées et bouleversées: elles renferment des veinules d'une houille devenue anthraciteuse, provenant visiblement de celle qui est exploitée à une très-petite distance à la Chapelle-sous-Dun. **Porphyre quartzifère et Houille.**

Porphyre. — Le porphyre au voisinage duquel la houille se change en anthracite, est un porphyre quartzifère bien caractérisé. Il contient du quartz en grains, de l'orthose, de l'anorthose et du mica ferromagnésien ayant une couleur verdâtre.

Houille. — La houille normale se montre à la Chapelle-sous-Dun, Sa densité est... 1,225. Elle brûle avec une longue flamme. A peu de distance du porphyre, on y trouve accidentellement quelques mouches de galène.

Houille anthraciteuse. — La houille qui est voisine du porphyre est devenue anthraciteuse, sa couleur est noire grisâtre. Elle brûle sans flamme.

Voici quelle est, d'après M. Drouot, la composition de ces deux combustibles (1) :

	Houille de la Chapelle-sous-Dun.	*Houille anthraciteuse de Chassigny.*
Carbone	47,0	83,9
Matières volatiles	50,0	11,6
Cendres	3,0	4,5
	100,00	100,00

La houille intercalée dans le grès houiller métamorphique et voisine du porphyre quartzifère, a donc perdu la plus grande partie des matières volatiles qu'elle renfermait ; elle s'est changée en houille anthraciteuse. Les analyses précédentes mettent ces faits hors de doute.

Anthracite prismatique imprégné d'hydroxyde de fer et de matières terreuses.

Roche éruptive et Houille.

Commentry.— Un gisement très-intéressant a encore été signalé par M. Martins dans la mine de houille de Commentry (2).

En effet, dans la galerie Saint-Edmond, on a trouvé une roche éruptive au contact de laquelle la houille s'est métamophosée en anthracite. Cette roche est à un état de décomposition avancée, et, par cela même, elle est assez difficile à reconnaître. Elle est blanchâtre et se laisse pétrir comme une argile. Elle ressemble à du trass. D'après Ebelmen, qui a fait son analyse, ce serait une domite décomposée. Elle renferme d'ailleurs beaucoup plus de potasse que de soude et par conséquent elle appartient plutôt aux roches granitiques qu'aux roches trappéennes. L'absence de coke

(1) Notices sur les gîtes de houille et les terrains des environs de Forges et de la Chapelle-sous-Dun et sur les gîtes de manganèse et les terrains des environs de Romanèche, p. 259. — Paris, 1857.

(2) Martins. — *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. VIII, p. 17.

à son contact paraît, en outre, indiquer qu'elle n'est pas volcanique.

La houille a été métamorphosée par cette roche, mais seulement jusqu'à une distance de 6 centimètres. Elle s'est changée en anthracite prismatique. Ses prismes ont 1 ou 2 centimètres de section; ils sont dirigés normalement à la surface de contact et fortement imprégnés d'hydroxyde de fer.

J'ai examiné cet anthracite qui a été mis à ma disposition par M. Ch. d'Orbigny. Dans la cassure fraîche, il a une couleur noire et un éclat métallique; mais quand il est altéré par l'action de l'air, il devient brun et il montre des réseaux d'hydroxyde de fer. Il est bien compacte. Sa densité s'élève... à 1,769. Lorsqu'on le calcine, il décrépite, et sa couleur passe au noir. Il dégage de l'eau et une trace de matière bitumineuse. M. Jacquelain a constaté de plus qu'il donne à la distillation de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique. Il brûle assez faiblement en laissant une cendre brun-rougeâtre très-abondante. Cette cendre s'agglutine en une scorie noire lorsqu'on la chauffe fortement. Quand on l'attaque à chaud par l'acide chlorhydrique, on dissout beaucoup d'oxyde de fer, et aussi un peu d'argile; il reste d'ailleurs une argile grisâtre.

Anthracite prismatique de Commentry.

Carbone.			58,22
Cendres.	Oxyde de fer.	23,72	27,28
	Argile.	3,56	
Eau et matières volatiles.			14,50
	Somme.		100,00

L'anthracite dont je viens de faire connaître la composition se trouvait au contact immédiat de la roche éruptive.

Un autre échantillon également prismatique qui avait une densité de... 1,709 m'a donné seulement 22 p. 100 de cendres.

A une distance moindre qu'un décimètre, la houille redevient éclatante et présente une belle couleur noire : elle paraît être à l'état naturel, et d'après l'analyse que M. Berthier a faite de la houille de Commentry, elle doit contenir environ 6 p. 100 de cendres (1). La proportion de cendres diminue donc très-rapidement et on peut la regarder comme normale à 1 décimètre du contact.

En résumé, il est bien visible que la roche éruptive de la galerie Saint-Edmond a métamorphosé la houille de Commentry en anthracite, et non pas en coke, comme l'aurait vraisemblablement fait une lave ou une roche volcanique à l'état de fusion. Elle l'a rendu prismatique jusqu'à une distance de plusieurs centimètres. De plus, elle l'a imprégnée d'une quantité d'hydroxyde de fer qui dépasse le quart de son poids.

Porphyre quartzifère et Houille.

Altwasser. — Aux environs de Waldenburg, dans la basse Silésie, près d'Altwasser, j'ai eu l'occasion d'observer un gisement décrit déjà par MM. de Carnall et de Zobel, dans lequel on voit très-bien le contact du porphyre avec la houille.

Le porphyre est à grains de quartz hyalin et à pâte un peu terreuse ; c'est un porphyre quartzifère. Près du contact, il est veiné de brun et ses cavités contiennent de l'hydroxyde de fer. Il est aussi traversé par des fissures, dans lesquelles on observe de la pyrite de fer. Il recouvre la houille qui est devenue anthraciteuse.

Cette houille forme une couche dont l'épaisseur est au plus de $1^{m},10$. Au contact immédiat et même jusqu'aux deux tiers de la couche, elle est prismatique;

---

(1) Berthier : *Traité des Essais*, t. I., p. 331.

aussi la désigne-t-on sous le nom de *Stangenkohle* (*Columnar glance coal*). Les vides formés par ses retraits sont tapissés par de l'hydroxyde de fer.

Ensuite la houille devient schisteuse ou feuilletée, puis terreuse, mais elle reste impropre à la combustion. Elle ne reprend ses propriétés habituelles que quand le porphyre ne lui est plus superposé (1).

J'ai fait un essai de l'anthracite prismatique d'Altwasser. Il a un éclat un peu mat et une couleur noire grisâtre. Sa densité s'élève à... 1,775. Il est pierreux, dur et cassant. Lorsqu'on le calcine, il conserve à peu près le même aspect et il donne un coke non boursouflé. Sa perte est alors de 6 à 9 p. 100. Voici les résultats que j'ai obtenus :

Anthracite prismatique d'Altwasser.

Carbone	75,67
Cendres	15,50
Perte au feu	8,83
Somme	100,00

J'ai examiné également la cendre qui a été attaquée par le carbonate de soude :

Cendre de l'Anthracite d'Altwasser.

Silice	31,45	4,87
Chaux	2,10	0,33
Magnésie (diff.)	1,77	0,27
Oxyde de fer et un peu d'alumine	64,68	10,03
	100,00	15,50

La cendre de l'anthracite d'Altwasser est brun-rougeâtre. Elle est en grande partie formée par de l'oxyde de fer qui est mélangé à de l'argile.

Ainsi, au contact du porphyre quartzifère, la houille est devenue prismatique; elle s'est changée en anthracite; elle a été imprégnée d'hydroxyde de fer : par

(1) G. Leonhard : *Die Quarlzführende Porphyre.*

conséquent, elle a éprouvé le même métamorphisme qu'au contact des roches trappéennes (§ 49).

— On vient de voir que l'anthracite résulte généralement d'un métamorphisme de la houille. Telle paraît être son origine la plus habituelle. Elle se forme d'ailleurs jusque dans les roches éruptives elles-mêmes. Nous avons constaté déjà qu'elle s'observe dans les roches trappéennes (p. 136); nous devons ajouter ici qu'elle se rencontre aussi dans les roches granitiques. Il suffira de citer, comme exemple, le porphyre de Schœnfeld près d'Altenberg en Saxe.

Du reste l'anthracite se montre quelquefois dans des filons et jusque dans des gîtes métallifères. En effet, d'après M. Blum, à Wurtzbach, il se trouve dans les filons de quartz qui traversent le schiste argileux. A Kongsberg, on sait qu'il accompagne le minerai d'argent. Enfin dans le Hartz, à Rehhübel en Saxe, et à Ryddarhyttan en Suède, il est associé à des minerais de fer. Dans ces derniers gisements, il provient vraisemblablement de matières bitumineuses.

L'anthracite s'est donc produit dans des circonstances extrêmement variées; aucune d'elles cependant n'accuse une origine ignée proprement dite. Sa présence dans les filons de quartz et dans les gîtes métallifères porterait plutôt à admettre une origine aqueuse (§ 43, 49).

§ 133. *C.* HOUILLE.

Lorsque la houille se trouve au contact ou seulement dans le voisinage des roches granitiques, elle paraît généralement avoir été changée en anthracite.

Je citerai cependant un exemple de métamorphisme dans lequel la houille s'observe au contact de filons métallifères; car, la formation des filons métallifères offre des rapports assez intimes avec celle des roches granitiques.

Structure conique.

Filon métallifère et Houille.

La collection de l'École des Mines m'a présenté une houille de Swansea qui est légèrement altérée au contact d'un filon pyriteux.

Le filon renferme de la pyrite de fer. A sa salebande, on observe des zones alternantes de pyrite de fer et de houille terne plus ou moins impure (Pl. VI, *fig.* 4).

Puis vient une houille brillante qui se divise en prismes triangulaires ou plutôt en cônes. Ces cônes ressemblent à ceux qui se rencontrent dans diverses couches du terrain houiller d'Angleterre, et qui sont nommés *cone in cone corals*. Leur axe est à peu près perpendiculaire à la salebande sur laquelle s'appuie leur base. Ils portent des stries très-fines à leur surface, mais dans leur intérieur la houille est compacte. Ils présentent l'apparence d'une scie.

La houille qui forme ces cônes a une densité de 1,433 qui est assez élevée. Quand on la calcine, elle dégage des gaz combustibles qui brûlent avec une longue flamme. Elle donne un coke gris, très-boursouflé, à éclat métallique. Sa cendre est gris brunâtre.

J'ai trouvé dans un essai :

Houille conique de Swansea.

Carbone	72,39
Cendres	7,61
Perte au feu	20,00
Somme	100,00

Cette houille est donc très-légèrement modifiée au contact d'un filon ou d'une veine de pyrite de fer. Elle est terne et plus ou moins imprégnée de pyrite; en outre, elle a pris une structure conique. Toutefois elle est restée brillante, même à quelques centimètres du contact, et elle renferme encore une grande proportion de matières bitumineuses.

§ 134. *D.* LIGNITE.

Il n'est pas à ma connaissance qu'on ait observé une roche granitique éruptive en contact avec un lignite.

Sur les flancs des roches granitiques des Alpes, il existe des combustibles récents, puisqu'ils sont jurassiques. Toutefois M. Élie de Beaumont a fait voir que dans plusieurs gisements, ces combustibles ont été métamorphosés en anthracite et quelquefois même en graphite. La métamorphose en anthracite s'observe d'ailleurs jusqu'à une distance très-grande des roches granitiques.

§ 135. *Métamorphisme normal dans les Combustibles.*

Nous avons démontré par de nombreux exemples que les combustibles en contact avec les roches trappéennes ou granitiques peuvent passer au lignite, à la houille, à l'anthracite et même au graphite. Mais les mêmes métamorphoses se sont produites aussi sur une grande échelle et par le métamorphisme normal. Elles peuvent, en effet, résulter de l'âge des combustibles. Elles peuvent provenir aussi d'une chaleur modérée qui serait prolongée pendant un temps très-long. Elles sont d'ailleurs indépendantes de l'action directe d'une roche éruptive; cependant, quand il s'est formé de l'anthracite et du graphite, c'est seulement dans des régions bouleversées ou bien dans lesquelles les roches sédimentaires sont elles-mêmes métamorphosées. Considérons, par exemple, le terrain houiller des États-Unis qui s'étend, à l'ouest des Alleghanys sur plus de 1500 kilomètres de long. Sir Charles Lyell fait observer que le combustible y renferme une proportion de matières volatiles qui va successivement en diminuant à mesure qu'on se rapproche des montagnes. Elle s'élève à 50 pour 100 sur l'Ohio; mais elle tombe à 40 sur le Monongahela et même à 16 quand on atteint les Alleghanys. Enfin dans les régions les plus bouleversées, en Pensylvanie et dans le Massachusetts, il s'est formé de l'anthracite et même du graphite.

On a généralement admis que les métamorphoses des combustibles devaient être attribuées à la chaleur centrale. Il faut remarquer cependant, que la température à laquelle les combustibles métamorphiques ont été soumis ne devait pas être élevée; car ils ne sont jamais changés en coke et de plus les roches qui leur sont associées ne portent pas non plus des traces de l'action de la chaleur.

A mesure qu'on descend dans la série des terrains, les combustibles perdent successivement leurs matières bitumineuses pour s'enrichir en carbone. En même temps, ils deviennent plus compactes et leur densité augmente. Quand ils sont enclavés dans des roches très-métamorphosés, ils peuvent cristalliser et alors ils passent au graphite. Peut-être même produisent-ils, dans certains cas, du diamant? Car, le diamant se trouve dans le gneiss ainsi que dans des conglomérats, et son origine première doit probablement être attribuée à des matières combustibles qui auraient subi un métamorphisme spécial.

Les matières bitumineuses des combustibles ne se sont pas échappées par volatilisation. Elles ont été dissoutes très-lentement par des eaux plus ou moins chargées de substances salines ou alcalines qui, secondées sans doute par une chaleur modérée, ont agi pendant l'incalculable durée des temps géologiques. Elles ont toujours disparu, quel que soit l'âge des combustibles, lorsque ces derniers se trouvent enclavés dans des roches qui ont pris la structure cristalline.

Résumé. § 136. *Résumé.*

Lorsque des combustibles sont au contact de roches granitiques, ou seulement dans leur voisinage, ils éprouvent un métamorphisme qui est généralement bien évident. Ils se changent en anthracite et assez souvent en graphite. *Roches granitiques et Combustibles.*

Quelquefois ils prennent au contact immédiat de la

roche granitique, une structure prismatique bien caractérisée. Ils peuvent aussi être imprégnés par de l'hydroxyde de fer et par des matières terreuses.

Le métamorphisme exercé sur les combustibles par les roches granitiques présente donc une analogie frappante avec celui des roches trappéennes. Cependant, il importe de signaler une différence capitale. Jusqu'à présent, en effet, on n'a pas observé qu'il se soit produit du coke au contact de roches granitiques. Par suite, ces roches n'ont pas fait éruption à une température élevée; elles diffèrent complétement sous ce rapport de certaines roches trappéennes, telles que les basaltes; mais elles diffèrent surtout des laves (§ 21). Nous sommes donc conduits de nouveau à admettre que l'anthracite, le graphite et même le diamant peuvent se former sans l'intervention d'une forte chaleur (§ 49).

ROCHES FELDSPATHIQUES.

Les roches granitiques s'observent souvent en filons au milieu des roches feldspathiques, et elles empâtent aussi leurs fragments. Ces fragments présentent alors des particularités toutes différentes de celles qui ont été signalées dans les laves et dans les trapps.

§ 137. *Altération nulle ou très-faible.* Quand les roches feldspathiques sont en filons, elles n'ont généralement exercé qu'une action très-faible sur la roche feldspathique encaissante.

C'est, par exemple, ce qu'il est facile de constater en examinant, dans les Vosges, le contact du porphyre quartzifère ou de la minette avec le granite. Car, lorsque ces roches forment des filons dans le granite, elles ne l'ont ordinairement pas altéré; ce sont elles plutôt qui ont été altérées par lui, et ce métamorphisme sera même étudié dans la deuxième partie de notre travail.

Si on ne considère plus seulement des filons, [illegible]

des dykes ou même des massifs éruptifs, il n'y aura souvent aucun métamorphisme spécial au contact immédiat. Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner la ligne de jonction de deux roches granitiques, par exemple, au Tholy ou au Val-de-Munster, dans les Vosges, où l'on voit d'énormes massifs de granite à un mica qui ont pénétré dans le granite à deux micas (1). Or, bien que ce dernier granite tout entier puisse être métamorphique, on n'observe cependant aucune altération particulière au contact des deux roches.

La Claquette. — Près de Schirmeck, dans les Vosges, à la Claquette, un amas de porphyre, n'ayant pas moins de 50 mètres d'épaisseur, est intercalé dans une brèche feldspathique du terrain de transition. Le contact du porphyre s'observe très-bien près d'un rocher dans lequel on a percé un petit tunnel pour le passage de la route (Pl. VI, *fig.* 12 et 13). Porphyre et Grauwake.

Le porphyre est quartzifère, il a une couleur brun rougeâtre, et il contient des lamelles d'orthose. Son gisement fait voir qu'il a dû être à l'état pâteux (Pl. VI, *fig.* 13).

La brèche elle-même est un peu feldspathique; elle est formée de fragments généralement assez petits de diverses roches. Elle est souvent désignée dans les Vosges sous le nom de grauwake bréchiforme; ses caractères sont d'ailleurs absolument les mêmes que lorsqu'elle est loin du porphyre. Quoi qu'il en soit, si l'on examine le contact, on reconnaît que, jusqu'à une distance de quelques décimètres, la brèche a été kaolinisée et changée en arène verte qui est mélangée d'hydroxyde de fer. Le porphyre lui-même a été légèrement décomposé. Au contact des deux roches, il n'y a donc qu'une décomposition, et elle paraît provenir plutôt d'in-

(1) *Bulletin de la société géologique* : Réunion extraordinaire à Épinal. 2e sér., t. IV, p. 404.

filtrations postérieures que d'une action du porphyre.

Dans une carrière ouverte sur le flanc de la colline, on trouve, il est vrai, un schiste feldspathique qui se divise en parallélipipèdes; et à l'intérieur de ces parallélipipèdes, il y a même des sphéroïdes à zones concentriques (Pl. VI, *fig.* 14). Mais cette altération dans la structure est due au développement de clivages ainsi qu'à la cristallisation du feldspath; et, bien qu'elle ait eu lieu au voisinage du porphyre, il est difficile de savoir si elle doit lui être attribuée (1).

§ 138. *Silicates et Minéraux divers.* Roches granitiques et Roches feldspathiques.

Les roches granitiques enveloppent souvent des fragments de roches feldspathiques. Alors, ces fragments ont quelquefois conservé leurs angles vifs, bien qu'ils soient parfaitement soudés à la roche éruptive. C'est par exemple, ce que j'ai observé, à Glas-Drumman, en Irlande, où un dyke de porphyre quartzifère globuleux traverse une diorite compacte dont il enveloppe des fragments. La diorite possède encore sa couleur vert noirâtre; elle contient la même quantité d'eau et elle ne paraît aucunement altérée.

Le plus souvent les fragments que renferme la granite ont leurs contours un peu vagues. Ainsi, dans les granites servant aux trottoirs de Paris, on observe fréquemment du micaschiste ou du gneiss qui sont encore bien reconnaissables; cependant les minéraux du granite qui les empâtent ont cristallisé jusque dans leur intérieur. Comme M. B. Cotta l'a signalé dans le granite du Thuringerwald, de gros cristaux d'orthose se développent même au milieu de la diorite (aphanite) (2).

Dans d'autres circonstances, les fragments sont complétement arrondis et paraissent avoir été corrodés;

(1) *Annales des mines*, 5e s., t. III, p. 749.

(2) B. Cotta. *Geologische Fragen*. Freiberg, 1857, p. [illegible]

c'est notamment ce que j'ai remarqué pour le granite enveloppé par les filons de minette du Mont-Chauve (1).

— Lorsqu'une roche granitique a pénétré dans une autre roche, de la pegmatite s'est souvent formée près du contact. § 139. *Salebande. Pegmatite.* Roches granitiques et Roches feldspathiques.

Cette pegmatite est en veines qui serpentent dans la roche granitique éruptive, et surtout dans la roche encaissante. Quelquefois même elle est interposée comme une salebande.

Ainsi, à la base du ballon de Guebwiller, dans la vallée qui mène de Freudenstein à Willer, le granite se trouve en contact avec un schiste argileux métamorphique devenu cristallin et contenant de l'orthose. Le schiste n'a pas éprouvé d'altération au contact immédiat; mais, près de sa limite avec le granite, on remarque des fissures de quelques centimètres qui ont été remplies par de la pegmatite (Pl. VI, *fig.* 16). Cette roche renferme, comme d'habitude, du quartz hyalin, de l'orthose, du mica blanc argenté (2). Elle forme aussi une salebande très-mince à la limite du granite. Elle est analogue à la salebande qu'on observe le long des filons qui traversent les roches calcaires ou siliceuses; seulement, le remplissage des vides a été fait ici par du feldspath, du quartz et du mica (§ 57, 72, 104).

Il est, du reste, très-fréquent de trouver la pegmatite en veines dans la roche encaissante. C'est notamment ce qui a lieu quand des schistes cristallins sont redressés par un granite éruptif. On comprend, en effet, que lors de la dislocation de ces schistes par le granite, il s'y est nécessairement produit des fissures; or, dans une certaine zone autour du granite, ces fissures ont été remplies par de la pegmatite.

---

(1) *Annales des Mines*, Minette 5e s., t. X, p. 366.
(2) *Annales des Mines*, 1853. t. III, p. 385.

La présence de la tourmaline, qui s'y observe assez généralement, indique d'ailleurs que le remplissage a eu lieu, au moins en partie, par des émanations provenant du granite.

On a déjà vu précédemment que les fissures formées dans une roche encaissante sont le plus souvent remplies par des minéraux sécrétés par cette roche elle-même. Il n'est donc pas étonnant que les fissures des roches feldspathiques soient remplies par des feldspaths et par les minéraux qui leur sont associés.

§ 140. *Métamorphisme normal dans les Roches feldspathiques.* — Les roches feldspathiques peuvent être altérées par le métamorphisme normal. Mais comme elles étaient originairement cristallines leurs métamorphoses sont assez rares et difficiles à apprécier ; par suite elles n'ont que peu d'importance.

§ 141. *Résumé.*

Résumé.

Roches granitiques et Roches feldspathiques.

Les roches feldspathiques qui sont en contact avec les roches granitiques ne subissent souvent qu'une altération nulle ou très-faible. Cependant elles prennent aussi une structure cristalline, et alors il s'y forme divers silicates et notamment les minéraux mêmes des roches granitiques. C'est ce qui a lieu surtout quand elles y sont complétement enveloppées. Bien que les fragments renfermés dans les roches granitiques soient généralement feldspathiques, on comprend d'ailleurs qu'ils puissent provenir de roches siliceuses ou argileuses métamorphosées.

De la pegmatite se montre quelquefois en veines près du contact des roches granitiques. Elle serpente dans la roche encaissante, et elle paraît surtout fréquente lorsque cette dernière est elle-même feldspathique.

Les roches enveloppées dans les roches granitiques n'ont jamais la structure prismatique, ni la structure celluleuse et scoriacée qu'elles prennent quand elles

sont dans les laves. Leur mica n'a pas non plus la couleur rouge brunâtre du mica calciné. En outre, on n'y observe ni les zéolithes, ni les divers minéraux qui ont été signalés lorsque la roche éruptive est trappéenne.

La plasticité que les roches granitiques avaient au moment de leur éruption ne doit donc pas être attribuée à une fusion ignée.

ROCHES CALCAIRES.

L'action des roches granitiques sur les roches calcaires présente une grande analogie avec celle qui a été exercée par les roches trappéennes. Je vais la faire connaître par divers exemples établissant autant que possible une gradation dans les phénomènes de métamorphisme.

Quelquefois cette action est nulle.

Saxe. — Je citerai d'abord un gisement classique, celui de la Saxe. On sait, en effet, que le granite de la Saxe est postérieur au terrain crétacé qu'il recouvre même en plusieurs endroits (1).

§ 142. *Altération nulle ou très-faible.* Granite ou Syénite et Calcaire

C'est, par exemple, ce que j'ai pu observer à Weinböhla où la syénite recouvre le plœnerkalk. Cette syénite est traversée par de nombreuses fissures, et elle ressemble, jusqu'à un certain point, à un conglomérat. Un lit de marne et d'argile, dans lequel on trouve des cailloux roulés de syénite, la sépare d'ailleurs du plœnerkalk.

Quant au plœnerkalk, il a conservé sa couleur grisâtre et il n'a pas été modifié. Il n'est pas même modifié lorsqu'il est en fragments dans le granite, comme cela a lieu près de Dresde.

---

(1) Cotta : *Geognostische Wanderungen.* — Gumprecht : *Beitræge zur geognostischen Kenntniss einiger Theile Sachsens und Böhmens.* — Von Leonhard : *Die Basalt gebilde.* — D'Archiac : *Histoire des progrès*, t. V, 2e partie, p. 252.

Cette absence d'altération devra paraître extrêmement remarquable, si l'on observe, avec M. Naumann, que le granite de la Saxe était au moins à l'état pâteux lorsqu'il a fait éruption à travers le terrain crétacé.

Granite et Calcaire.

Sicile. — Près du cap Calava, en Sicile, un calcaire est traversé par de nombreux filons de granite. Ce granite est blanc et grenu. On y voit beaucoup de veinules de pyrite de fer, de même que dans le calcaire. Quant au calcaire, il est cristallin, gris bleuâtre et quelquefois blanc comme du marbre. Souvent il est empâté par le granite, surtout près de la salebande des filons; mais alors il reste gris bleuâtre et il ne paraît pas altéré (1).

Porphyre et Calcaire.

Ile d'Elbe. — Sur la plage d'Enfola, près de Porto-Ferrajo, à l'île d'Elbe, un porphyre s'élance en filons qui enveloppent complétement de gros blocs de calcaire et de macigno.

Ce porphyre est formé de feldspath blanc et de quartz vitreux; il contient aussi des lamelles microscopiques de fer oligiste. M. Studer remarque que le calcaire n'a pas été altéré, quand bien même il est en petits fragments ayant seulement quelques centimètres. Il est, au contraire, resté compacte et il a conservé sa couleur grise foncée. De plus, dans certains blocs de macigno, on distingue encore très-bien le *fucoïdes intricatus* (1).

§ 143. *Glauconie non altérée.* Granite et Calcaire.

— Enfin, il peut arriver que la glauconie elle-même ne soit pas altérée. En effet, aux environs de Zscheïla et de Niederfehra, en Saxe, le granite contient des fragments irréguliers de calcaire crétacé qui paraît durci, mais dans lequel on distingue encore les fossiles et même la glauconie. On se rappelle que la glauconie

(1) Hoffmann. *Karsten und von Dechen, Archiv.* t. XIII, p. 352.

(2) Studer : *Bulletin de la Société géologique*, 1re série, t. XII, p. 292.

s'observe également au contact des roches trappéennes (§ 60).

Voilà donc plusieurs exemples montrant bien qu'une roche granitique, assez molle pour empâter des fragments et pour former des filons ondulés, ne produit, dans certains cas, aucune altération, ni sur le calcaire ni même sur la glauconie.

Par suite, il est nécessaire d'admettre que, dans ces gisements au moins, la roche granitique a fait éruption à une température peu élevée et qu'elle peut même devenir plastique sans le secours de la chaleur.

— Toutefois il arrive souvent que le calcaire est métamorphosé près de son contact avec une roche granitique. Il subit alors des altérations dans sa structure et l'on y voit aussi apparaître divers minéraux.

Le métamorphisme le plus fréquent est celui dans lequel le calcaire prend la structure cristalline; mais les gisements dans lesquels le développement de cette structure doit être attribué exclusivement à une action de la roche granitique sont cependant assez rares. Il est utile d'en citer quelques-uns. § 144. *Structure cristalline.*

Vosges. — Le calcaire devonien des environs de Schirmeck, dans les Vosges, est toujours légèrement cristallin et dans plusieurs carrières on l'exploite même comme marbre. Quand il est traversé par des filons de minette, il prend quelquefois jusqu'à 1 ou 2 décimètres de leur contact une structure entièrement cristalline et en même temps sa couleur devient plus blanche. Le métamorphisme de contact est alors très-limité, mais il est très-net et bien distinct du métamorphisme normal (1). Minette et Calcaire.

New-Jersey. — A Sparta, dans le New-Jersey, le Granite et Calcaire.

(1) Minette : *Annales des Mines*, 5e s., t. X, p. 368.

granite se trouve en contact avec un calcaire silurien. Ce calcaire, qui est terreux et gris-bleuâtre, a été modifié jusqu'à une distance de plus de 15 mètres. Il est d'abord légèrement grenu, puis il a une couleur plus claire et l'on y distingue des lamelles de graphite. Enfin, il prend une structure entièrement cristalline (1).

Granite et calcaire.

Ile de Sardaigne. — Dans l'île de Sardaigne, le granite relève un calcaire qui devient cristallin à son contact. C'est ce que l'on voit surtout très-bien dans la petite île de Tavolara (Pl. VI, *fig.* 5).

M. le général Albert de la Marmora fait connaître ce gisement remarquable dans son important ouvrage sur l'île de Sardaigne (2).

Le granite constituant la base de l'île de Tavolara présente une protubérance qui a fait fléchir des couches calcaires et qui les a courbées suivant un arc immense. Ce calcaire contient des hippurites et il appartient au terrain crétacé. Sa couleur est blanche, tirant sur le jaune; sa cassure est presque terreuse. Il est d'ailleurs compacte. Mais à mesure qu'on se rapproche du granite, on le voit perdre sa stratification et devenir de plus en plus cristallin. Près du contact avec le granite, il est blanc-grisâtre, lamelleux, spathique. En outre, un certain éclat nacré et de petites cavités le font complétement ressembler à de la dolomie. Un essai de cette roche m'a montré qu'elle renferme :

Calcaire de Tavolara.

Carbonate de chaux.	97,08
Carbonate de magnésie.	1,36
Carbonate de fer.	0,58
Eau.	0,98
Somme.	100,00

(1) H. Rogers : *Report on the geology of New-Jersey*, p. 73.

(2) Albert de la Marmora. *Voyage en Sardaigne*, t. II, p. 209 et suivantes.

Le calcaire crétacé est donc devenu simplement cristallin au contact du granite et il n'a pas été changé en dolomie, comme on aurait pu le croire d'après ses caractères minéralogiques. La structure cristalline devait s'y développer d'autant plus facilement qu'il n'est pas mélangé de matières terreuses et que c'est un carbonate de chaux presque pur.

— Le calcaire en contact avec une roche granitique peut prendre la structure lithoïde. Le gisement classique de Glen Tilt nous en offre un exemple remarquable. § 145. *Structure lithoïde.*

En effet, ce granite de Glen Tilt a pénétré de ses ramifications un calcaire qui est bleu grisâtre et très-cristallin. Or, près du contact, on voit le calcaire devenir lithoïde; il fait une effervescence lente avec les acides et il passe à une sorte de *hornstone* (1). Granite et Calcaire.

Il serait très-intéressant de rechercher si ce calcaire a subi des modifications dans sa composition chimique. Son métamorphisme peut d'ailleurs s'expliquer par des réactions mutuelles entre les substances qu'il renferme; par conséquent il n'est pas nécessaire de supposer que des substances nouvelles aient été introduites par le granite.

On conçoit du reste qu'un calcaire argileux doit généralement prendre une structure lithoïde par le métamorphisme.

Lorsqu'un calcaire est en contact avec les roches trappéennes, et notamment avec les diorites, il devient souvent caverneux (p. 202). Comme les diorites sont parmi les roches trappéennes celles qui se rapprochent le plus des roches granitiques, il était donc naturel de penser que le calcaire en contact avec les roches granitiques pourrait prendre aussi la structure caverneuse. § 146. *Structure caverneuse.*

(1) Lyell. : *Nouveaux éléments de géologie*, p. 238. (1839).

Il est facile, en effet, d'en citer des exemples et je les choisirai spécialement dans les Alpes-Suisses.

Protogine et Calcaire.

Grund. — Sur la route de Meyringen à Guttannen, à Grund, on rencontre près du pont de l'Aar un hameau nommé Hof, dans lequel on peut très-bien observer le contact de la protogine avec le calcaire jurassique (Pl. VI, *fig.* 6).

Cette protogine est tantôt granitique, tantôt gneissique (1).

Le calcaire qu'elle a relevé appartient, d'après M. Studer, à l'étage jurassique moyen. Il présente quelquefois des traces confuses de fossiles. Ses caractères sont ceux du calcaire des hautes régions : il est gris bleuâtre, grenu, un peu rugueux. Accidentellement, j'y ai rencontré du mica sericite de couleur verdâtre.

J'ai déterminé la composition de trois calcaires pris à différentes distances de la protogine.

I. *Calcaire magnésien caverneux.* — Il est au contact immédiat de la protogine et on l'observe jusqu'à une distance d'environ 4 mètres. Il est pénétré par des veines de quartz opalin ou blanc laiteux. Dans l'acide, il donne un résidu qui consiste en quartz mélangé d'un peu d'argile. Sa structure est légèrement cristalline. De plus, il montre des cellules très-irrégulières qui communiquent entre elles et qui sont tapissées de cristaux de dolomie. Ces cellules ont une couleur jaune brunâtre lorsqu'elles ont été exposées à l'air; elles rendent d'ailleurs le calcaire très-rude au toucher.

II. *Dolomie.* — Elle forme un banc, à 4 mètres de distance de la protogine et entre deux assises de calcaire plus ou moins celluleux. Elle est blanc grisâtre, compacte, à grain très-fin et à peine rugueuse. Elle fait une effervescence lente dans l'acide et laisse pour résidu une poudre blanche siliceuse.

III. *Dolomie.* — Elle est à 10 mètres de la protogine, près du four à chaux. Elle a une couleur grise. Elle est compacte et à

(1) Protogine des Alpes : *Bulletin de la Société géologique.*

grain très-fin. Du silex gris ou noirâtre y forme des nodules, des réseaux ou des plexus nuageux, très-irréguliers (pl. VI, fig. 7). Dans l'acide, elle donne un dégagement très-sensible d'hydrogène sulfuré. Elle laisse d'ailleurs un résidu pulvérulent qui devient blanc lorsqu'il est calciné et qui paraît siliceux.

	I	II	III	
	au contact.	*à 4 m.*	*à 10 m.*	
Carbonate de chaux. . . .	79,63	52,47	53,37	
Carbonate de magnésie. .	11,29	41,41	41,97	(Diff.)
Carbonate de fer.	1,99	1,80	1,58	
Eau.	2,16	0,59	0,70	
Résidu insoluble	4,88	2,68	2,38	
Somme. . . .	99,86	99,03	100,00	

Tous ces calcaires contiennent bien de la magnésie; mais celui des trois dans lequel il y en a le moins se trouve précisément au contact de la protogine.

D'après les caractères qu'il présente, on serait cependant porté à croire que c'est au contraire lui qui en renferme le plus; car il est rugueux et celluleux, tandis que les autres sont compactes et à grain très-fin.

A 4 mètres, on a un banc de dolomie (II), puis un peu plus loin, vient un calcaire caverneux et magnésien ressemblant à (I); enfin, à 10 mètres, on trouve de nouveau de la dolomie (III).

Ainsi, la quantité de magnésie que renferme le calcaire varie d'une manière très-irrégulière; elle est plus grande à 4 mètres de la protogine qu'à son contact immédiat. Les analyses précédentes démontrent donc que la magnésie ne peut être attribuée à un métamorphisme exercé par la protogine : il est visible qu'elle a été originairement déposée dans les couches.

Mettenberg. — A Stireck, sur les flancs du Mettenberg, on peut encore observer facilement le contact d'une roche granitique avec le calcaire. Gneiss et Calcaire.

Ici, c'est un gneiss qui recouvre complétement le cal-

caire (Pl. VI, *fig*. 8). Ce gneiss est très-quartzeux et son orthose a une couleur blanc de lait. L'un de ses micas est brun-tombac, tirant tantôt sur le noir, tantôt sur le rouge cuivré. L'autre est verdâtre et très-doux au toucher. Des grains de pyrite sont souvent disséminés dans la roche; elle est aussi traversée par un grand nombre de filons formés de quartz, qui est recouvert et pénétré par de la chlorite verte (ripidolithe).

Au contact du gneiss se trouve un calcaire jurassique qui, d'après M. Studer, appartient à l'étage callovien. Il est renversé par-dessus le calcaire oxfordien.

Les deux calcaires ont les caractères qu'on leur trouve dans les hautes régions. Ils sont grenus, plus ou moins cristallins; ils contiennent des lamelles de mica sericite, ayant un éclat nacré et une couleur blanche, verdâtre ou verte; cependant, leurs fossiles n'ont pas été détruits et on y voit fréquemment des belemnites, des encrines, des térébratules.

Le calcaire de l'étage callovien renferme des couches schisteuses ayant une couleur verte.

J'y ai observé aussi des grains de minerai de fer oolitique. Ce minerai n'est plus à l'état d'oxyde et il a pris une couleur verte. Il ne devient rouge que lorsqu'il est altéré. Ses grains qui ont quelquefois plus d'un centimètre de longueur ont été aplatis. Il a été changé en chamoisite.

Cette métamorphose tient sans doute à la composition qu'avait le minerai oolitique, et il est vraisemblable qu'elle a eu lieu lorsque le calcaire a pris sa structure cristalline. C'est encore en même temps que se sera formé le mica sericite. Ce mica est en lamelles larges, mais très-minces. Il est parallèle à la schistosité. Sa couleur est verte, ce qui indique qu'il contient du fer. Il prend des reflets bronzés dans les parties exposées à

l'air. Malgré le métamorphisme subi par le calcaire qui contient la chamoisite et le mica sericite, on y distingue très-bien des rostres de belemnites.

J'ai fait l'analyse de trois calcaires pris à des distances différentes de la roche granitique.

I. *Calcaire caverneux et bréchiforme.* — Il se trouve au contact immédiat du gneiss, et on le décrit toujours sous le nom de *rauhwake.* Il est tellement celluleux qu'il ressemble à de la meulière. Sa couleur est brun jaunâtre et il est ferrugineux. Des grains de quartz et surtout des fragments anguleux de gneiss y sont enveloppés ; ils représentent même les trois cinquièmes de la roche. Ces fragments de gneiss ont tous une couleur vert grisâtre, ils sont satinés et très doux au toucher ; ils paraissent avoir été altérés et ils s'attaquent partiellement par les acides.

II. *Dolomie.* — Elle a été prise à quelques décimètres du contact. Elle n'est pas celluleuse et sa structure est légèrement grenue. Elle a une couleur gris noirâtre, qui devient jaunâtre par altération. Des veines de quartz blanc laiteux, la pénètrent dans tous les sens et j'y ai observé également quelques mouches de galène.

III. *Calcaire.* — Il a été pris à plusieurs centaines de mètres du contact, au bord du glacier et sur le sentier qui conduit à Stireck. C'est un calcaire oxfordien dans lequel on distingue encore un rostre de belemnite qui est étiré et tronçonné. Sa couleur est gris noirâtre. Ses caractères sont ceux du calcaire des hautes régions. Il est grenu, rugueux, sonore, légèrement cristallin. La chaux carbonatée fibreuse qui composait le rostre de la belemnite, a cristallisé en lamelles blanches et spathiques ; mais le calcaire qui entourait ce rostre a conservé sa couleur noirâtre et a pris seulement une structure grenue ; voici donc un exemple montrant que, toutes choses égales, le calcaire fibreux devient plus facilement spathique que le calcaire amorphe.

	I.	II.	III.
Carbonate de chaux. . . .	36,85	45,67	95,68
Carbonate de magnésie. . .	1,25	34,49	2,05
Oxyde de fer.	1,10	6,12	2,13
Alumine.	4,78		
Eau.	0,78	1,60 (diff.)	0,32
Résidu insoluble.	55,03	12,12	»
	99,79	100,00	100,18

L'analyse de ces trois calcaires m'a de nouveau conduit à des résultats qui sont complétement en opposition avec les idées reçues.

Et, en effet, le calcaire caverneux (I) qu'on désigne sous le nom de *Rauhwake* et qui est au contact immédiat du gneiss, n'est pas formé par de la dolomie ; ce n'est pas même un calcaire magnésien.

Cependant à quelques décimètres du contact on a une couche de dolomie grenue (II) qui est traversée par des veines de quartz. Cette dolomie contient même une proportion de magnésie un peu plus grande que celle qui est habituelle.

Quant au calcaire oxfordien (III) qui renferme des belemnites et qui est recouvert par le gneiss, il n'est pas non plus magnésien.

Ainsi à Stireck le métamorphisme du calcaire est le même qu'à Grund, seulement il paraît plus énergique.

La proportion de magnésie, dans le calcaire, ne va d'ailleurs pas en augmentant à mesure qu'on s'approche de la roche granitique.

Il existe bien, il est vrai, une couche de dolomie à quelques décimètres du contact; mais la roche granitique me paraît complétement étrangère à sa formation qui résulte d'un dépôt par voie de sédiment.

L'éruption du gneiss à travers le calcaire jurassique de Stireck, a pu contribuer à développer la structure cristalline dans toutes les couches et même jusqu'à une grande distance. En tout cas, elle a imprégné le calcaire de veines quartzeuses et métallifères.

Si l'on admet qu'elle ait aussi donné au calcaire (*I*) la structure caverneuse qui le caractérise et que ce calcaire provienne de la dolomie (II), on voit qu'il y aurait eu disparition de la magnésie. Je rappellerai du reste que le même fait a été observé au contact de

roches trappéennes (§ 64). Il semblerait donc qu'un calcaire magnésien peut perdre de sa magnésie lorsqu'il est en contact avec une roche trappéenne ou granitique; c'est sans doute à cette circonstance qu'il doit alors sa structure caverneuse.

— Au col d'Urbach et à la Jungfrau, le gneiss et le calcaire offrent encore le même métamorphisme qu'au Mettemberg.

Col d'Urbach. — Ainsi, au col d'Urbach, M. Studer a remarqué que le gneiss a été ramené par-dessus le calcaire jurassique dans lequel il pénètre en formant d'énormes coins (1). Gneiss et Calcaire.

Le calcaire est grisâtre et compacte; il contient des belemnites et des ammonites. Celui qui est intercalé entre les coins de gneiss porte des traces bien évidentes de métamorphisme. Sa stratification a disparu; sa couleur est devenue rouge ou grise. Il a pris beaucoup de cohésion. Il a été imprégné d'oxyde de fer. De plus il passe à un calcaire caverneux et bréchiforme, contenant divers fragments. On y trouve aussi des lamelles blanches ou verdâtres, très-douces au toucher, formées de mica sericite. Ce mica s'est même développé jusque dans le têt des ammonites qu'il a complétement remplacé.

Enfin le minerai de fer oolitique habituel au terrain jurassique a été changé en petits grains vert noirâtre de chamoisite et on l'observe à cet état, même dans le rostre des belemnites.

Certaines parties du calcaire qui sont en contact avec le gneiss ou dans son voisinage n'ont aucunement été altérées; elles renferment encore des fossiles.

— En résumé, les gisements de Grund, du Mettenberg, de la Jungfrau et d'Urbach nous montrent les

(1) Studer: *Geologie der Schweiz* I, p. 186 et 403.

mêmes phénomènes de métamorphisme au contact d'une roche granitique.

D'abord le calcaire prend incontestablement une structure plus cristalline à mesure qu'on se rapproche de la roche granitique; mais il est difficile de dire si cela résulte d'une action immédiate de la roche granitique ou bien de la formation même des montagnes.

Quant au minerai de fer, il se trouvait originairement dans la roche; toutefois il a pu être changé postérieurement en chamoisite. Enfin, le calcaire au contact de la roche granitique est généralement caverneux. Il est aussi jaunâtre et ferrugineux, comme celui qui est près de l'ophite des Pyrénées. De plus, il renferme quelquefois de la magnésie dont on attribue la présence à une action de la roche granitique; mais je pense que cette magnésie a été originairement déposée dans les couches de calcaire; c'est ce qui explique pourquoi la proportion de magnésie varie si irrégulièrement. Lorsque les Alpes ont reçu leur relief, le granite a d'ailleurs été redressé et même renversé pardessus le calcaire magnésien. Alors, ce calcaire a pris la structure cristalline, et avec la magnésie primitivement déposée dans les couches, il s'est formé de la dolomie qui a cristallisé dans ses cellules, surtout dans la partie la plus rapprochée du granite : il en est résulté un calcaire caverneux et rugueux qui est quelquefois imprégné de dolomie et qu'on désigne sous le nom de *rauhwake*. Ce calcaire peut contenir de nombreux débris de la roche granitique; il est aussi pénétré par une multitude de veines de quartz et même par des minerais métalliques.

§ 147. *Disparition de la magnésie.*

Quant à l'hypothèse d'une introduction de la magnésie, elle ne saurait aucunement être admise; car, dans certains cas, la magnésie peut au contraire dispa-

raître partiellement ou complétement au contact des roches granitiques.

Il est même impossible de méconnaître une grande analogie entre ces phénomènes et ceux qu'on observe au contact de diverses roches trappéennes (§ 64, 66, 67).

—Je vais maintenant passer en revue les principaux minéraux qui s'observent dans le calcaire près de son contact avec les roches granitiques.

Les carbonates forment souvent des veines spathiques qui serpentent dans le calcaire. Ils se montrent aussi en cristaux rhomboédriques isolés qui tapissent les cellules du calcaire caverneux. C'est ce que nous venons de voir dans les Alpes Suisses. § 148. *Carbonates.*

Comme il n'y a généralement pas de carbonates dans les roches granitiques, ces carbonates proviennent visiblement de la roche calcaire encaissante. Ils se sont développés dans les fissures et dans les cavités qui se sont produites au moment de l'éruption. Ils sont formés de chaux carbonatée ou de dolomie, suivant que le calcaire est pur ou magnésien. On se rappelle que des carbonates ont cristallisé dans les mêmes circonstances au contact des roches trappéennes (p. 210).

— Le quartz est de beaucoup le minéral le plus fréquent au contact des roches granitiques. On l'observe même dans le calcaire. Plusieurs des gisements qui viennent d'être décrits en offrent déjà des exemples; mais il importe de mentionner spécialement la Bourgogne et le Nivernais. En effet, le granite s'y trouve en contact avec le calcaire du lias qui est complétement pénétré de quartz. Ce quartz forme une multitude de petits filons ou de veines qui serpentent dans tous les sens. Il a souvent pseudomorphosé le têt calcaire des gryphées arquées et des autres fossiles; par suite il s'est substitué au calcaire par une infiltration lente. § 149. *Quartz.*

Une véritable *silicification* peut donc se produire dans un calcaire près de son contact avec une roche granitique.

§ 150. *Silicates et Minéraux divers.* — Si maintenant nous passons aux silicates, nous en trouvons une très-grande variété dans le calcaire qui est au voisinage des roches granitiques. Il suffira de citer quelques exemples.

Grenat. **Christiania.** — Le granite a fait éruption dans le calcaire silurien des environs de Christiania, au sud de la Norwége. Or, il est facile de constater que le calcaire a été métamorphosé dans la zone de contact et même jusqu'à plus de 300 mètres de distance, il est devenu blanc et cristallin; il s'est changé en marbre. Du grenat s'y est quelquefois développé. En outre, on y trouve différents minéraux des filons, notamment des minerais de fer, de plomb et de cuivre (1).

Couzeranite. **Pyrénées.** — Le métamorphisme du calcaire dans le voisinage des roches granitiques s'observe encore sur une grande échelle dans les Pyrénées.

Ainsi, à Lacus, M. Coquand signale un calcaire jurassique noir, compacte et fossilifère. A mesure qu'on se rapproche du granite de la Hennemorte, on voit ce calcaire devenir grenu et se charger de cristaux de couzeranite. Cependant ses fossiles n'ont pas encore été détruits, et on en retrouve aisément les traces. Les polypiers sont changés en calcaire cristallin et lamellaire; enfin au contact du granite, ce calcaire devient saccharoïde (2).

Minéraux divers. — Il serait facile de multiplier beaucoup ces exemples; et même sans quitter la chaîne des Pyrénées, on pourrait

(1) Sir Ch. Lyell. *Manuel de Géologie élémentaire*, 5e éd., t. II, p. 430.

(2) *Bulletin de la Soc. géologique*, t. XII, p. 321.

citer des calcaires crétacés, jurassiques et dévoniens qui, au voisinage de roches granitiques, se chargent de minéraux très-variés. Leur structure cristalline se développe de plus en plus à mesure qu'on se rapproche du centre de la chaîne; ils passent enfin à ces marbres dont les couleurs sont si vives, au marbre blanc et quelquefois au marbre statuaire (1).

Généralement, lorsque le calcaire se trouve en contact avec le granite ou avec une roche granitique, il a pris une structure cristalline. De plus il s'y est formé un grand nombre de minéraux. Je citerai parmi les plus fréquents le mica, le grenat, le pyroxène, l'hornblende, les feldspaths, le graphite, le spinelle, etc. Il est très-remarquable que ces minéraux soient précisément ceux qu'on trouve dans le calcaire de la Somma et surtout dans les calcaires altérés par le métamorphisme normal.

— L'étude de plusieurs gisements nous a déjà fait voir que le calcaire en contact avec le granite peut être imprégné par les minéraux des gîtes métallifères (p. 731, 736). § 181. *Minéraux des gîtes métallifères.*

Je citerai encore d'une manière spéciale les Alpes françaises dans lesquelles M. E. de Beaumont a observé le contact de roches granitiques avec le terrain jurassique (2). A Champoleon, le calcaire jurassique est recouvert par le granite. Il a bien une structure cristalline qui va en diminuant successivement, mais il a conservé sa couleur grisâtre et il ne s'est pas changé en marbre. Les couches argileuses intercalées dans le cal-

---

(1) *Matériaux de construction de l'Exposition universelle*, par M. Delesse; Marbres, p. 137.

(2) E. de Beaumont : *Sur les montagnes de l'Oisans*, etc. (*Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, t. II, p. 404).

caire ont d'ailleurs été durcies et elles sont devenues verdâtres.

Près du contact, le calcaire ainsi que le granite sont pénétrés par des veines de quartz associé à la pyrite de fer, la galène, la blende, la pyrite de cuivre.

Granite et Calcaire du lias.

Dans la Bourgogne et le Nivernais, le quartz qui imprègne le lias est généralement accompagné par la baryte sulfatée, le spath-fluor, la chaux carbonatée. Il y a aussi des minerais métalliques tels que le fer oligiste, la galène, la blende, la pyrite de cuivre, etc. Ce métamorphisme au contact du granite est bien connu. Il a surtout été décrit par MM. de Bonnard, Fournet et par les auteurs de la Carte géologique de France. Il est à peu près indépendant de la nature de la roche encaissante. Il s'observe aussi bien dans le calcaire que dans le grès feldspathique auquel on donne le nom d'arkose. On doit l'attribuer à ce que ces roches ont été imprégnées par des filons siliceux et métallifères qui se sont formés près de la limite du granite.

En résumé, il importe de remarquer que près du granite, et en général près d'une roche granitique, il y a eu souvent dans la roche encaissante, non-seulement *silicification*, mais encore *métallisation* (1).

§ 152. *Métamorphisme normal dans les Roches calcaires.*

— Si le métamorphisme de contact produit par les laves et par les roches trappéennes est généralement très-net, celui qui est produit par les roches granitiques se confond, le plus souvent, avec le métamorphisme normal.

Nous avons constaté, en effet, que, dans certains cas, on n'observe dans le calcaire aucune altération au contact du granite.

Fréquemment le métamorphisme du calcaire se réduit à une simple cristallisation qui ne s'étend pas au delà de quelques mètres.

---

(1) Fournet; Drian. *Minéralogie et pétralogie.*

Tous les phénomènes dus au métamorphisme de contact qui viennent d'être décrits, comme la pénétration du calcaire par du quartz et par les minéraux des gîtes métallifères sont d'ailleurs assez simples et toujours bornés à une étendue très-limitée. Lors donc qu'on voit le calcaire devenir cristallin et se charger de minéraux sur une distance de plusieurs kilomètres, on peut se demander si cela doit être attribué à la roche granitique?

Il est assurément permis d'en douter, et, pour le bien faire comprendre, il est nécessaire de passer en revue les principaux phénomènes produits par le métamorphisme normal dans les roches calcaires. *Structure.*

Revenons, par exemple, aux Alpes suisses. Le métamorphisme qui a été éprouvé par le calcaire au contact immédiat de la roche granitique, a déjà été décrit précédemment (§ 146).

Mais, outre ce métamorphisme, il en existe un autre qui est particulier aux hautes régions des Alpes et qui paraît indépendant de l'action directe d'une roche éruptive.

Car le calcaire des hautes régions dans les Alpes présente des caractères bien constants qui ont été signalés depuis longtemps par tous les géologues suisses. A mesure qu'on s'approche des massifs montagneux, on voit ce calcaire se modifier d'une manière insensible. Il devient grenu et de plus en plus cristallin. Il est dur et sonore. Il se divise en fragments pseudoréguliers. Sa couleur noire ou grise disparaît et il prend une couleur pâle. Quelquefois, surtout lorsqu'il est pur, il se change en calcaire blanc et saccharoïde.

En même temps, quelques minéraux s'y développent. Je signalerai comme le plus constant de ces minéraux une variété de mica séricite qu'on décrit habituellement comme du talc. Ce mica est en lamelles larges et très-minces qui sont parallèles à la schistosité du calcaire. Il

est transparent; son éclat est soyeux; il a une couleur qui varie avec la proportion d'oxyde de fer qu'il contient; cette couleur est généralement blanche, grisâtre ou verdâtre. Il est presque aussi doux au toucher que le talc, mais un peu plus dur. Il fond d'ailleurs au chalumeau.

Le mica séricite a pu se développer dans le calcaire des hautes régions, lorsqu'il est à peine cristallin. Souvent même, il tapisse les moules laissés libres par les fossiles. Ainsi, on trouve des ammonites dans lesquelles le têt calcaire a été remplacé par du mica séricite de couleur vert foncé. En un mot, ce mica se montre presque invariablement dans les Alpes dès que le calcaire commence à prendre les caractères qui viennent d'être signalés.

Je remarquerai maintenant que le calcaire des hautes régions est souvent très-éloigné de toute roche granitique. Il ne me paraît pas que ces roches aient directement contribué à y développer la structure cristalline. Le métamorphisme de ce calcaire semble plutôt devoir être attribué à la formation même des montagnes.

Un grand nombre de faits tendraient à confirmer cette manière de voir; car il est très-fréquent de voir le calcaire devenir compacte, ou même cristallin sans l'intervention d'aucune roche éruptive. C'est ce qu'on observe, par exemple, pour beaucoup de calcaires exploités comme marbres. Je citerai notamment les carrières de marbre du terrain jurassique de la Franche-Comté. Il n'existe aucune roche éruptive dans leur voisinage, mais on remarque que le calcaire a été changé en marbre dans les parties où les couches calcaires ont dû être fortement comprimées par des plissements ou par des refoulements.

Si l'on considère le marbre blanc lui-même, qui présente un type de calcaire très-cristallin et dans lequel le métamorphisme est même très-développé,

on trouve que le plus souvent il n'est pas à proximité d'une roche éruptive. Ainsi, dans les Alpes Apuennes, on ne voit aucune roche éruptive à laquelle on puisse attribuer la métamorphose du calcaire jurassique en marbre statuaire. Cette métamorphose qui a eu lieu sur une très-grande échelle, est sans doute en relation avec la formation même des Alpes Apuennes; elle résulte donc d'un métamorphisme normal.

Le plus souvent d'ailleurs le calcaire cristallin se trouve enclavé dans les roches métamorphiques. Il s'observe, par exemple, dans le gneiss, le micaschiste, le quartzite. C'est notamment ce qui a lieu à la Nuffenen où un calcaire micacé et grenatifère contient encore des bélemnites. Or, il n'est aucune des roches qui l'enveloppent qui soit à proprement parler éruptive; par conséquent, ce n'est pas à une action exercée par ces roches que doit être attribué le développement de la structure cristalline dans le calcaire.

Si l'on recherche maintenant quels sont les minéraux qui se forment dans les calcaires métamorphiques, on trouve qu'ils sont extrêmement nombreux et variés. La plupart sont silicatés, et, d'après leur composition, ils peuvent se répartir en cinq groupes principaux qui sont caractérisés par les minéraux suivants : *Minéraux.*

1° Andalousite, disthène; 2° Wollastonite, edelforsite, Serpentine, talc; 3° Grenat, idocrase; pyroxène, amphibole, Épidote, Ilvaïte; Chlorite, Pyrosklérite; 4° Couzeranite, dipyre, paranthine, Feldspaths; 5° Micas, Condrodite, Sodalite.

— Quant aux roches gypseuses, elles éprouvent très-fréquemment des métamorphoses dans leur structure et quelquefois dans leur composition minéralogique. De plus, les minéraux qui s'y forment se retrouvent aussi dans les calcaires métamorphiques.

— Je n'entrerai pas dans de plus grands détails sur le métamorphisme des roches calcaires, traité déjà dans un travail antérieur (1). Je remarquerai seulement que plusieurs des minéraux qui se développent dans ces roches, s'observent également quand elles sont au contact des laves, des roches trappéennes et des roches granitiques. Il est donc certain que ces minéraux peuvent se former aussi près des roches éruptives, et par un métamorphisme de contact (§ 30, 70 et 150).

Quoi qu'il en soit, les faits qui précèdent montrent, qu'indépendamment de l'action des roches éruptives, le calcaire et le gypse éprouvent souvent des altérations dans leur structure et dans leur composition minéralogique.

On peut d'ailleurs aisément s'en rendre compte ; car, de même que le gypse, le calcaire prend facilement la structure cristalline. Aussi, lorsqu'il a été traversé par une roche éruptive, est-il presque toujours altéré à la fois par le métamorphisme de contact et par le métamorphisme normal. Les effets produits par ces deux métamorphismes viennent se superposer, et alors il est très-difficile de les séparer : du reste, ceux qui sont dus au métamorphisme de contact sont généralement assez limités.

§ 152. *Résumé.* — *Roches granitiques et Roches calcaires.*

Résumé.

Il arrive fréquemment que les calcaires n'ont pas été altérés lorsque des roches granitiques les traversent, les recouvrent ou bien même y forment des filons (§ 142). La glauconie qu'ils renferment est quelquefois conservée (§ 143).

Les calcaires sont généralement d'autant plus métamorphosés qu'ils sont au contact de filons ou de massifs granitiques plus puissants.

---

(1) *Bulletin de la Société géologique*, 2ᵉ s., t. IX, p. 128.

Leur structure devient le plus souvent cristalline; en outre, ils prennent une couleur plus pâle, et ils passent au calcaire saccharoïde (§ 144).

Quand ils sont argileux, leur structure peut être lithoïde (§ 145).

Leur structure devient aussi caverneuse; c'est ce qu'on observe très-bien dans les Alpes suisses, et alors, quand ils sont magnésiens, ils renferment moins de magnésie au contact immédiat qu'à une petite distance (§ 146, 147).

Parmi les minéraux qui se sont développés, on peut citer les carbonates spathiques, le quartz, les minéraux des gîtes métallifères; ils imprègnent quelquefois le calcaire. Le plus souvent cependant ils sont à l'état cristallin; ils serpentent sous forme de veines, ou bien ils tapissent des cavités (§ 148, 149, 151).

Des silicates et divers minéraux se sont encore développés dans les calcaires qui ont pris la structure cristalline. Mais, généralement, il est assez difficile de savoir s'ils proviennent d'un métamorphisme de contact ou d'un métamorphisme normal (§ 150, 152).

Les calcaires ont été métamorphosés d'une manière notablement différente, suivant qu'ils sont en contact avec les roches trappéennes, ou bien avec les roches granitiques. Je remarquerai surtout qu'on n'observe pas de zéolithes au contact des roches granitiques, quelle que soit d'ailleurs la nature de la roche encaissante (§ 81, 153).

ROCHES SILICEUSES.

Les roches siliceuses qui se trouvent dans le voisinage des roches granitiques ont souvent été métamorphosées jusqu'à une grande distance. Elles paraissent

généralement avoir subi l'influence du métamorphisme normal autant que du métamorphisme de contact. Quelquefois même elles sont devenues feldspathiques et elles ne sont plus reconnaissables; mais je parlerai seulement de celles qui proviennent évidemment de roches siliceuses.

§ 154. *Altération nulle ou très-faible.* Voici d'abord un exemple dans lequel un grès qui est au contact d'un granite par lequel il a été disloqué, n'a éprouvé aucune altération.

Roches granitiques et Grès. En effet, le granite des Vosges est fréquemment en contact avec le grès vosgien, qu'il a soulevé jusqu'à de grandes hauteurs. Or, le plus généralement on n'observe pas d'altération sensible dans le grès. Sur la route de Remiremont à Plombières, notamment, le grès vosgien conserve les caractères qui lui sont habituels; il est rouge, peu cohérent ou complétement désagrégé et même à l'état de sable.

Lorsque le granite est en filon dans les roches arénacées, elles sont quelquefois altérées; il est donc possible que l'absence d'action doive être en partie attribuée à ce que le granite était déjà solide quand il a fait éruption.

§ 155. *Structure lithoïde.* Toutefois les altérations que les roches siliceuses éprouvent dans leur structure sont généralement peu importantes, si l'on se borne à celles qui sont au contact immédiat des roches granitiques.

Il peut arriver, par exemple, que les roches siliceuses prennent une structure lithoïde.

Roche granitique et Grès. Pomeroy. — C'est notamment ce que M. le colonel Portlock a observé à Bardahessiagh, près de Pomeroy, en Irlande; car les couches siliceuses du terrain silurien ont été redressées par une roche granitique, et près de son contact elles sont devenues plus dures (1).

---

(1) Portlock : *Report*, etc., pl. 6, fig. 2.

Touron. — Dans les Alpes françaises, à la montagne de Touron, M. E. de Beaumont a signalé un énorme massif de granite qui recouvre un grès du terrain jurassique (1). Or ce grès a été très-fortement cimenté. Ses grains de quartz sont même soudés l'un à l'autre. Il contient des cristaux d'orthose. Sa densité est... 2,607. Il renferme... 2,20 d'eau. De petites veines anthraciteuses indiquent sa stratification qui est à peu près parallèle à la surface de contact. De même que le granite qui le recouvre, il a été imprégné près du contact par la baryte sulfatée, la galène, en un mot par les minéraux des gîtes métallifères. Granite et Grès.

— Si nous cherchons maintenant quels sont les minéraux qui se sont formés dans les roches siliceuses près de leur contact avec les roches granitiques, nous trouvons que les carbonates s'observent surtout lorsque les roches siliceuses en renferment elles-mêmes. § 156. *Carbonates.*

Quant au quartz, il est au contraire très-fréquent. Et il est, du reste, facile de le comprendre; car il peut provenir, non-seulement de la roche granitique dont il a accompagné quelquefois l'éruption, mais encore de la roche encaissante elle-même. § 157. *Quartz.*

Citons quelques exemples :

Dans les Vosges, sur la route de Plombières à Remiremont, au pied du château de Montaigut, les noyaux de grès vosgien sont réunis par un ciment siliceux. Ce grès est très-compacte, et sa cassure est complétement conchoïde. En même temps, il a pris une couleur gris blanchâtre et un éclat lustré. Ses noyaux présentent surtout des particularités remarquables; ils ont des contours nuageux et ils se fondent insensiblement dans Granite et Grès vosgien.

(1) *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, t. II, p. 405. Voir pl. XIII, fig. 7.

a calcédoine qui les entoure. On y observe des zones concentriques et parallèles ayant des couleurs variées. Lorsque le noyau était à l'état de quartz hyalin, il n'a pour ainsi dire pas subi d'altération. Les cavités de ce grès métamorphique sont, d'ailleurs, tapissées de cristaux de quartz hyalin qui est accompagné d'hydroxyde de manganèse.

Il est évident que le grès vosgien a été silicifié au contact du granite. Toutefois, le granite n'est pas la cause immédiate de cette silicification, car elle n'a pas eu lieu sur toute l'étendue du contact, et elle est même tout à fait locale. Elle doit sans doute être attribuée à des eaux chargées de silice.

Arkose.

La silicification au contact du granite est d'ailleurs très-générale; elle s'observe surtout très-bien dans l'*arkose*.

Granite et Grès feldspathique.

On sait que l'arkose est un grès formé de quartz et de feldspath orthose qui contient aussi du mica et des fragments de diverses roches. Le plus ordinairement, l'arkose repose sur le granite. On le trouve à la séparation du granite avec les terrains stratifiés qui le recouvrent.

Il est pénétré par une multitude de filons de quartz. Ce quartz est souvent accompagné par les minéraux qui forment la gangue des filons métallifères, notamment par la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, la chaux fluatée.

Il est aussi pénétré par divers minerais métalliques, tels que le fer oligiste, la pyrite de fer, les oxydes de manganèse, la galène, la blende, la pyrite de cuivre, les carbonates de cuivre, l'oxyde de chrôme, etc.

L'arkose s'observe très-bien dans la Bourgogne, dans le Nivernais et autour du plateau central de la France.

C'est une roche trop connue pour qu'il soit nécessaire de nous y arrêter plus longtemps; constatons seulement qu'une *silicification* et une *métallisation* se sont produites dans les roches siliceuses en contact avec le granite (1).

Les silicates et divers minéraux peuvent encore se former dans les roches siliceuses en contact avec les roches granitiques. C'est ce qui a eu lieu, par exemple, pour les fragments de grès empâtés dans ces dernières roches. En effet, les roches siliceuses qu'on trouve dans le granite ne sont pas à l'état de grès ou de quartzite, mais bien à l'état de micaschiste et même de gneiss. On peut donc penser qu'elles résultent du métamorphisme de roches siliceuses dans lesquelles il se serait développé des micas et des feldspaths. § 158. *Silicates et Minéraux divers.*

Les minéraux des gîtes métallifères sont aussi très-fréquents dans les roches siliceuses (p. 745 et 746). L'arkose vient de nous en offrir des exemples d'autant plus remarquables que ses minerais deviennent quelquefois assez abondants pour donner lieu à des exploitations. § 159. *Minéraux des gîtes métallifères.*

— Si nous passons maintenant en revue les roches siliceuses métamorphiques, nous trouvons que leurs métamorphoses doivent le plus souvent être attribuées au métamorphisme normal. § 160. *Métamorphisme normal dans les Roches siliceuses.*

En effet, bien que ces métamorphoses s'observent fréquemment dans les régions granitiques, elles ont eu lieu sur une très-grande échelle. et elles ne paraissent pas résulter de l'action directe d'une roche éruptive. Elles sont, d'ailleurs, accusées par des changements dans la structure et par le développement de minéraux.

---

(1) Fournet: Drian. *Minéralogie et Pétralogie*, p. 275 et 401.

Structure. Ainsi, il arrive souvent que les roches siliceuses deviennent lithoïdes par suite de ce que les grains qui les composent sont cimentés. Le phénomène des cailloux impressionnés qui s'observe dans toutes les roches, mais qui est particulièrement remarquable dans les roches siliceuses représente le premier degré de ce métamorphisme.

Minéraux. Les minéraux qui se développent dans les roches siliceuses sont très-nombreux. En première ligne, on doit citer le quartz qui, dans les grès les plus modernes, cristallise indépendamment de toute roche éruptive. C'est, par exemple, ce que M. Naumann a constaté pour des grès tertiaires dont les grains se changent en cristaux de quartz hyalin ayant ordinairement leurs angles arrondis.

Le quartzite lui-même est un agrégat de grains de quartz hyalin. Ces grains sont tantôt faciles à désagréger, et tantôt intimement soudés l'un à l'autre. Dans ce dernier cas la roche devient dure et elle peut passer au quartz compacte. M. Durocher remarque aussi que le phtanite n'est qu'une variété de quartzite qui est jaspée et entremêlée de schiste (1).

Le quartzite renferme généralement du mica. Je pense même que le nom de quartzite devrait être spécialement réservé au grès métamorphique dans lequel ce mineral s'est développé. Le mica du quartzite présente d'ailleurs des caractères particuliers. Il est facile à distinguer des micas plus ou moins altérés qui proviennent de la désagrégation des roches granitiques. Bien qu'il forme des veines parallèles à la stratification, il n'a pas été déposé par voie de sédiment. Sa couleur est blanche, rougeâtre, grise ou verte. Son

(1) *Bulletin de la Soc. géologique*, 2ᵉ s., t. III, p. 568.

éclat est nacré et soyeux. Il est très-doux au toucher, et quand sa couleur est verte, il ressemble beaucoup au talc, avec lequel on l'a souvent confondu. Le mica le plus habituel au quartzite me paraît être une variété de séricite.

Je citerai parmi les quartzites remarquables, celui que j'ai observé à la Furka, entre le Grimsel et Hospenthal. Son quartz est hyalin, grenu et friable. Son mica est blanc-nacré, en petites paillettes. C'est le mica que j'ai nommé Damourite et qu'on trouve aussi dans les schistes avec actinote du Saint-Gothard.

Le quartzite se rencontre souvent dans les Alpes, les Pyrénées, la Bretagne, le Lyonnais, le Hartz, l'Écosse, l'Irlande, la Scandinavie. Il s'est généralement formé sur une très-grande échelle; bien qu'il soit fréquemment associé aux roches granitiques, il n'est aucunement limité à leur contact.

Les minéraux qui se sont développés dans les roches siliceuses alterées par le métamorphisme normal ne diffèrent d'ailleurs pas essentiellement de ceux qui ont été signalés déjà dans les roches calcaires (§ 151). Il est même très-remarquable que des minéraux très-peu silicatés, comme les micas, le grenat, l'amphibole entrent dans la composition de roches qui renferment toujours un grand excès de silice. Cette association montre bien que les actions moléculaires auxquelles sont dus les minéraux des roches siliceuses métamorphiques devaient agir avec une très-grande énergie.

Il est d'ailleurs facile de comprendre pourquoi les roches siliceuses métamorphiques sont généralement traversées par une multitude de veines de quartz; car ce quartz résulte du remplissage de fissures, et il a été sécrété par les roches siliceuses elles-mêmes.

§ 161. Résumé. — Roches granitiques et Roches siliceuses.

Résumé.

Le métamorphisme des roches siliceuses est capricieux et très-irrégulier. D'abord, elles peuvent se trouver au contact de roches granitiques qui leur sont postérieures et ne pas présenter d'altération sensible (§ 154).

Quelquefois cependant elles prennent la structure lithoïde (§ 155). Lorsque leur structure devient entièrement cristalline, elles se changent même en un agrégat de quartz ; c'est ce qui a lieu dans le quartzite ; mais alors leur métamorphose s'observe le plus souvent sur une très-grande échelle.

Le quartz doit être signalé en première ligne parmi les minéraux qui se sont développés près du contact. Il est fréquemment associé à la baryte sulfatée, à la chaux fluatée et aux minéraux des gîtes métallifères. Ainsi l'arkose, par exemple, est un grès feldspathique qui se trouve en contact avec le granite et qui a éprouvé une silicification et une métallisation (§ 157, 159). Les minéraux qu'on observe le plus souvent dans les roches siliceuse sont rempli leurs fissures et leurs cavités ; mais les silicates se sont développés jusque dans ces roches elles-mêmes.

Ces silicates ne diffèrent d'ailleurs pas de ceux qui ont été signalés déjà dans les calcaires métamorphiques et ils paraissent provenir d'un métamorphisme normal (§ 158, 160).

Les roches siliceuses éprouvent des métamorphoses notablement différentes, suivant qu'elles sont en contact avec des roches trappéennes ou bien avec des roches granitiques (§ 105, 162).

ROCHES ARGILEUSES.

J'étudie maintenant l'action des roches granitiques sur les roches argileuses. Il importe d'abord de remarquer que les roches argileuses, bien qu'elles soient très-faciles à modifier, peuvent n'éprouver qu'une altération très faible. Quelques exemples vont nous en convaincre. § 162. *Altération nulle ou très-faible.*

Peorois. — Le granite de la montagne nommée le Puy de Peorois, dans les Alpes françaises, recouvre complétement le schiste du lias par-dessus lequel il forme une espèce de voûte (1). M. Elie de Beaumont, qui a le premier signalé ce gisement remarquable, a bien voulu mettre à ma disposition les belles collections qu'il a recueillies pour la carte géologique de France. Granite et Schiste argilo-calcaire.

J'ai constaté que le schiste du lias pris au contact du granite n'a pas été notablement altéré. Il a une couleur brun noirâtre qui est due à un peu de matière bitumineuse, car il devient blanchâtre par la calcination. Il est schisteux, très-tendre, très-friable. Sa densité est .. 2,620. C'est un schiste argilo-calcaire qui contient.... 3,68 d'eau et.... 16,80 d'acide carbonique. Son effervescence dans l'acide est d'abord vive, puis très-lente, ce qui indique du carbonate à base de fer ou de magnésie.

Ainsi, lorsqu'un schiste calcaire est en contact avec du granite, il peut encore renfermer des carbonates.

Vosges. — Le granite des Ballons, dans les Vosges, traverse sur certains points le schiste du terrain de transition. Ce schiste a été profondément métamor- Granite et Schiste ardoisier.

(1) *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, t. II, p. 404. Voir pl. XIII, fig. 8.

phosé, et sur les flancs du Ballon de Guebviller, il s'y est même développé de l'orthose et du mica, en sorte qu'on le voit passer à un véritable porphyre. Toutefois, lorsqu'on vient à examiner le contact immédiat du granite avec le schiste argileux, on n'observe aucune altération.

Je citerai, par exemple, la carrière de Schliffels, dans le val Saint-Amarin que j'ai visitée avec M. Ed. Collomb (Pl. VI. *fig.* 10).

Le granite porphyroïde du Drumont a pénétré violemment dans le schiste argileux de transition. Il forme des filons dans ce schiste dont il empâte des fragments. On ne saurait donc douter que ce granite ne fût complétement plastique au moment de son éruption. Cependant la limite des deux roches est très-nette; le schiste argileux présente ses caractères habituels et aucune métamorphose ne se remarque à son contact avec le granite (1).

C'est au contraire le granite qui a été altéré, il est moins cristallin, et la pâte y devenant beaucoup plus abondante, il s'est changé en un porphyre granitoïde.

Des faits analogues s'observent encore près du col de Bussang (Pl. VI, *fig.* 9).

Il serait, d'ailleurs, facile de citer, soit dans les Vosges, soit dans d'autres massifs granitiques, de nombreux exemples, montrant que souvent le granite n'a fait subir aucun métamorphisme aux schistes qui sont à son contact immédiat.

Granite et Serpentine.

Italie. — La même remarque s'applique aussi à la serpentine. On sait, en effet, que le granite récent de

(1) *Annales des mines*, 1853. t. III, p. 385. Ed. Collomb. *Bulletin de la Soc. géologique*, 2e série, t. VII, p. 291 et *Archives des sciences physiques et naturelles*, t. VIII, p. 167.

l'Italie centrale et de l'île d'Elbe la traverse quelquefois sous forme de filons. Or, M. Savi a constaté que, près du contact, la serpentine a pris seulement un éclat nacré et une couleur jaune d'or, blanc de perle ou vert bleuâtre. Quant au granite, il se termine dans certains cas, par des veinules d'une substance siliceuse, et il paraît même associé à des filons d'opale (1).

Ile d'Elbe. — A Marcotone, dans l'île d'Elbe, M. Studer a observé le contact du porphyre avec le *gabbro.* **Porphyre et Gabbro.**

Le porphyre forme de beaux filons qui traversent le *gabbro.* Ce dernier consiste en serpentine, en variolite et en roches feldspathiques compactes, très-tenaces. L'action du porphyre sur ces roches a d'ailleurs été très-faible ou à peu près nulle (2).

Ainsi, à l'île d'Elbe, non-seulement des roches feldspathiques n'ont pas été altérées par le porphyre, mais il en est encore de même pour des roches magnésiennes serpentineuses. Comme la serpentine contient environ 10 p. 100 d'eau qu'elle perd facilement quand on la chauffe, on voit que le porphyre de l'île d'Elbe n'était pas à l'état de fusion ignée lorsqu'il a été injecté à travers la serpentine et le *gabbro.*

— Les roches argileuses voisines du granite ont très-souvent éprouvé des altérations dans leur structure. **§ 163. *Structure schisteuse.***

Ainsi, cette structure est fréquemment schisteuse. Cela ne doit d'ailleurs pas nous surprendre, puisque nous avons vu qu'il en était quelquefois de même au contact des roches trappéennes (p. 455). Seulement,

---

(1) D'Archiac. *Histoire des progrès de la Géologie,* t. III, p. 371.

(2) *Bulletin de la Société géologique,* 1re série, t. XII, p. 294.

pour ces dernières roches, le développement de la structure schisteuse est limité à une petite étendue, et sa cause ne saurait être douteuse. Pour le granite, au contraire, il peut n'en être pas de même; alors, il est assez difficile de savoir si la structure schisteuse est bien due à l'action du granite, car cette structure s'observe aussi sur d'immenses étendues et loin de toute roche éruptive.

§ 164. *Structure lithoïde.* Les roches argileuses prennent dans certains cas la structure lithoïde au contact des roches granitiques.

Elvan et Killas. **Cornouailles.** — Près du contact des filons d'*elvan*, dans le Cornouailles, le *killas* est devenu plus compacte, plus dur, en un mot plus lithoïde. Sa couleur est aussi plus foncée. Accidentellement, il a été pénétré par de petits filons renfermant des minéraux très-variés, tels que le quartz, la tourmaline, le mica, la topaze, la chaux phosphatée, etc.

Granite et Schiste. **Devonshire.** — Sir R. Murchison a également observé dans le Devonshire, que le granite de Dartmoor a donné la structure lithoïde aux schistes du terrain houiller qu'il traverse (1).

Granite et Schiste. **Westmoreland.** — Le granite du Westmoreland a fait de même éruption dans le schiste. Or, M. Sedgwick a constaté que ce schiste prend les caractères du *killas*, lorsqu'on se rapproche du granite, tandis qu'il devient peu à peu fossilifère à mesure qu'on s'en éloigne (2).

Granite et Schiste calcaire. **Angoumer.** — Le granite d'Angoumer a changé le schiste argileux du lias en schiste lithoïde. Ce schiste est devenu plus compacte, plus dur, et il s'y est même

(1) Lyell. *Nouveaux éléments de Géologie*, p. 581.

(2) *Proceedings of the Geological Society*, t. II, p. 1.

développé du dipyre ainsi que de la pyrite de fer. Le calcaire interposé entre les veines de schiste a d'ailleurs pris la structure cristalline. Des analyses du schiste à différents états d'altération ont été faites par M. Coquand (2).

I. Schiste normal contenant un peu de carbonate de chaux.
II. Schiste passant au schiste lithoïde dit siliceux.
III. Schiste lithoïde.
IV. Schiste avec dipyre.

	I.	II.	III.	IV.
Silice.	50,0	50,9	60,7	50,5
Bases (Diff.).	37,0	45,4	35,9	42,3
Eau et matière bitumineuse.	8,2	2,9	2,8	6,6
Carbonate de chaux.	4,8	0,8	0,6	0,6
	100,0	100,0	100,0	100,0

Ces analyses montrent que le schiste métamorphique avec dipyre ne contient pas plus de silice que le schiste normal. Ce schiste est devenu lithoïde et non pas siliceux. Il renferme encore plusieurs centièmes d'eau; mais le carbonate de chaux y a presque complétement disparu.

On ne peut méconnaître l'analogie de ces résultats avec ceux que j'ai obtenus pour les roches argilo-calcaires qui ont été métamorphosées par les roches trappéennes (p. 455, 513).

Norwége. — MM. Keilhau, Lyell et Durocher ont signalé un métamorphisme remarquable qui a été éprouvé par le schiste au contact du granite postsilurien de la Norwége (2). Ce granite est associé à la syénite zirconienne et au porphyre rhombique. Il a un Granite et Schiste.

(1) *Bulletin de la Soc. géologique de France*, 1841, t. XII, p. 322.

(1) *Gea Norvegica*, p. 10, 61 et 63; *Bulletin de la Société géologique*, 2e série. t. III, p. 599. — Lyell. *Nouveaux éléments de Géologie*, p. 280.

caractère éminemment éruptif, et autour de lui le schiste silurien a visiblement été métamorphosé. A mesure qu'on s'approche du granite, on voit, en effet, le schiste devenir de plus en plus lithoïde ; il s'endurcit et perd sa fissilité. En même temps, il s'y montre des veines de diverses couleurs qui sont parallèles à la stratification, en sorte qu'il est rubanné et qu'il passe au jaspe. Le calcaire associé au schiste est également devenu lithoïde, et en plusieurs endroits, il s'y est développé des grenats, de même que dans le schiste lui-même. Ce métamorphisme a eu lieu suivant une zone concentrique au granite, et il s'étend jusqu'à une distance de 1500 mètres. Des minerais de fer, de plomb, de cuivre et d'argent s'observent d'ailleurs à proximité du granite et dans le schiste métamorphique.

§ 165. *Structure celluleuse ou amygdalaire.* Porphyre et Schiste argileux.

— Lorsque le schiste argileux est calcaire, il devient fréquemment celluleux ou amygdalaire. On comprend, en effet, que par suite des réactions entre les substances qui composent les schistes, il peut arriver que des dégagements de gaz se produisent et donnent des cellules, ou bien, que, par suite d'actions moléculaires, de la chaux carbonatée se réunisse sous forme d'amygdaloïdes C'est ce que nous avons constaté antérieurement (p. 470).

Mais le schiste argileux peut aussi devenir amygdalaire au contact de diverses roches éruptives. On l'a déjà reconnu pour le trapp, et on va voir qu'il en est encore de même pour le porphyre (§ 120).

St-Clément-de-la-Leu. — Les auteurs de la carte géologique de France ont signalé sur les bords de la Loire un exemple remarquable de ce métamorphisme (1).

Le porphyre quartzifère de St-Clément-de-la-Leu

(1) *Explication de la carte géologique*, t. I, p. 196 et 284.

forme, en effet, un monticule qui surgit au milieu du schiste appartenant au terrain anthraxifère.

Ce schiste est habituellement noir, mais près du porphyre, il devient luisant, gris verdâtre et satiné. En outre, il se charge peu à peu d'amandes de chaux carbonatée, et enfin, au contact du porphyre, il est complétement amygdalaire. La métamorphose est très-nette, car elle a eu lieu sur une petite étendue.

— Les roches argileuses prennent très-fréquemment une structure jaspée au contact des roches granitiques. § 166. *Structure jaspée. Jaspes.*

Le Hartz nous offre un bel exemple de ce métamorphisme (Pl. VI, *fig.* 17). En effet, d'après M. B. Cotta, l'énorme massif granitique qui constitue le Broken a fait éruption à travers des grauwakes qu'il a changées en jaspes (1). Ces jaspes forment une zone autour du granite. Ils ne sont pas moins variés que la grauwake elle-même; mais les géologues allemands leur donnent habituellement le nom de *Hornfels*. Ils sont durs, compactes, tenaces, à cassure esquilleuse. Quelquefois leur éclat est gras, leur ciment feldspathique, et ils passent à des roches métamorphiques telles que celles que j'ai étudiées dans les Vosges (2). Granite et Roches argileuses.

Il n'est pas nécessaire de nous étendre plus longuement sur ce sujet, car les jaspes, au contact des roches granitiques, présentent à peu près les mêmes caractères que ceux au contact des roches trappéennes (§ 122, 125). Le plus souvent ils sont tenaces et leur éclat peut être gras ou pétrosiliceux; alors ils appar-

(1) B. Cotta: *Deutschlands Boden, sein geologischer Bau und dessen Einwirkungen auf das Leben der Menschen.* Leipzig, 1854. — Hausmann: *Norddeutsche Beitræge.*

(2) *Annales des Mines.* Grauwake, 5e série, t. III, p. 747.

tiennent aux roches qu'on nommait autrefois *pierre de corne* ou *cornéenne* (*Hornfels*, *Hornstone*). Ils peuvent d'ailleurs passer à des roches feldspathiques ayant pour base un feldspath du sixième système.

§ 167. *Absence de structure vitreuse.* — Nous avons constaté que les roches argileuses prennent quelquefois une structure vitreuse au voisinage des laves et de certaines roches trappéennes (§ 121). Mais elles ne la prennent jamais près des roches granitiques, quand bien même elles sont à leur contact immédiat.

De plus, on ne trouve jamais de jaspe porcelanite ou de jaspe vitreux au contact des roches granitiques.

Si l'on observe que la structure vitreuse accuse l'intervention de la chaleur, l'absence de cette structure à la périphérie du granite est un fait d'une grande importance; car, bien que négatif, il est très-propre à jeter du jour sur l'origine du granite.

— Je passe maintenant aux minéraux qui se sont développés dans les roches argileuses et près des roches granitiques.

§ 168. *Carbonates.* Lorsque la roche argileuse sera calcaire, on comprend qu'il se formera des veines de carbonates spathiques.

§ 169. *Quartz.* Le quartz accompagne assez souvent les roches granitiques (§ 149, 157). Mais il peut aussi provenir de la roche encaissante, surtout lorsqu'elle est assez métamorphosée pour devenir entièrement cristalline. Il n'est donc pas étonnant que les roches argileuses voisines du granite soient si fréquemment pénétrées par des veines de quartz.

§ 170. *Silicates et Minéraux divers.* De nombreux silicates s'observent dans les schistes qui sont au voisinage du granite. Parmi ceux qui paraissent se développer le plus facilement, je citerai les micas, la mâcle, le dipyre, les feldspaths.

On voit d'abord le schiste devenir fissile, sonore, et passer au schiste ardoisier. Dans cet état, il contient déjà du mica dont les lamelles deviennent de plus en plus distinctes à mesure qu'on se rapproche du granite. *Micas, Mâcle.* Granite et Schiste.

Le plus souvent, il s'y développe de la mâcle ou de l'andalousite. Quelquefois aussi il s'y forme de la staurotide, du disthène, du dipyre, du grenat, de l'hornblende, etc. Il peut même contenir une très-grande variété de minéraux et de minerais.

Le métamorphisme du schiste argileux au voisinage du granite s'est propagé à une distance qui est très-grande et qui dépasse souvent plusieurs kilomètres. Ce métamorphisme s'observe bien dans quelques gisements devenus classiques, dans la Bretagne, les Pyrénées, les Vosges, la Scandinavie. Les descriptions que M. Durocher en a données me dispensent d'insister sur ce sujet, et je me contenterai de parler de deux gisements que j'ai explorés moi-même (1).

Glendalough. — A Gendalough, dans le comté de Wicklow, en Irlande, le granite a redressé et modifié le micaschiste. J'ai visité ce gisement en compagnie de M. Medlicott. Une coupe naturelle faite par la vallée montre bien le contact des deux roches qui est représenté par la *fig.* 18, Pl. VI. Granite et Micaschiste.

Le granite est grossièrement prismatique et sa structure est aussi un peu gneissique. Il renferme deux micas. Il est très-riche en quartz. Son orthose est blanc, et on n'y distingue pas de feldspath du sixième système, qui a sans doute été altéré. Ce granite est traversé par des filons d'une pegmatite qui contient du quartz, de l'orthose, du mica blanc argenté, du

---

(1) Durocher. *Bulletin de la Soc. géologique*, 2e série, t. III, p. 546.

mica vert foncé et de gros cristaux de grenat rouge.

Le micaschiste de Glendalough est essentiellement formé par du quartz et deux micas. Il contient aussi de l'andalousite et quelques cristaux allongés qui paraissent être de la staurotide. Enfin, de même que la pegmatite, il renferme du grenat rouge. Sa perte au feu est de... 4,20. Près du granite, il est traversé par de petites veines de pegmatite. Il devient de plus en plus cristallin à mesure qu'on se rapproche du granite. Ses cristaux se sont surtout développés près du contact et ils sont confus ou bien même disparaissent lorsqu'on s'en éloigne jusque vers le milieu du lac.

L'andalousite se montre en beaux cristaux qui ont quelques centimètres et même jusqu'à un décimètre de longueur. Elle est blanche, translucide, quelquefois pénétrée de mica. Elle s'est développée seulement dans les parties du micaschiste rapprochées du granite. Ses cristaux bordent ordinairement les lentilles de quartz du micaschiste ; ils se sont donc formés en présence d'un grand excès de silice.

Prés du contact du granite, le mica principal du micaschiste présente une couleur blanche argentée et un éclat métallique. A mesure qu'on s'éloigne du contact, il prend une couleur grise, gris-blanchâtre ou même noirâtre. Son éclat est alors nacré. Ce mica est très-abondant, et il forme quelquefois une grande partie de la roche à laquelle il donne une structure schisteuse et plissée. Cependant il y a aussi un mica ferro-magnésien qui est brun tombac et en petites paillettes : ce deuxième mica ne s'aperçoit bien que lorsque la roche a été calcinée.

A mesure qu'on s'éloigne du granite, les minéraux s'oblitèrent et le micaschiste passe à un schiste micacé.

Protogine et Schistes cristallins.

Saint-Gotthard. — La constitution géologique du Saint-Gotthard est représentée par la coupe de la

fig. 17 qui est à peu près celle donnée par M. Studer.

Le massif montagneux tout entier offre un bel exemple de la structure en éventail. Sa partie centrale est formée par une roche granitique qui est une protogine. De petits filons la traversent; ils renferment le quartz, l'adulaire, le périklin, le mica, le grenat, la chlorite, la stilbite, la prehnite, le sphène, l'axinite, la chaux carbonatée, la dolomie, l'apatite, le spath fluor, le fer oligiste, le rutile, l'anatase.

Cette protogine ressemble à celle du Mont-Blanc; toutefois elle est veinée, suivant ses joints de clivage, en sorte qu'elle a la structure du gneiss. A mesure qu'on descend du Saint-Gotthard, ce caractère devient de plus en plus marqué.

Si l'on se dirige d'abord vers Hospithal, dans la vallée d'Urseren, on rencontre de grandes bandes d'une roche très-micacée, et, au premier abord, on pourrait les prendre pour des filons d'une espèce de minette; mais en les examinant mieux, on voit qu'elles sont formées par un micaschiste dont la schistosité est parallèle au clivage de la roche encaissante. L'épaisseur de ces bandes varie de $0^m,2$ à $1^m,50$. Leur direction est N. 60° à 100° E. Leur pendage est de 60° à 80°.

En continuant à descendre, plus on s'approche d'Hospithal, plus la roche devient schisteuse et irrégulière dans sa composition. Elle passe au micaschiste qui constitue tout le versant de la montagne au-dessus d'Hospithal. Ce micaschiste a une couleur verte ou plutôt verdâtre. Il contient de gros nodules de quartz dans lesquels il y a des druses qui sont tapissées de cristaux d'orthose, de fer oligiste, de chlorite.

Si du sommet du Saint-Gotthard on descend maintenant de l'autre côté du col et vers le village d'Aïrolo, on rencontre bientôt des gneiss auxquels succèdent des

micaschistes avec amphibole, puis avec grenat, enfin une dolomie et du gypse.

A mesure qu'on descend du col, la protogine devient de plus en plus gneissique. Elle se charge quelquefois d'une grande quantité d'hornblende. Elle est d'ailleurs séparée d'une manière nette des micaschistes.

Ces derniers sont caractérisés par l'absence presque complète de feldspaths. Ils sont tous très-riches en quartz qui forme surtout des veines parallèles à la schistosité. Cependant le quartz se montre aussi en chapelets transversaux et irréguliers. Il est blanc, tantôt hyalin, tantôt grenu et opaque.

L'amphibole est verte plus ou moins foncée, quelquefois transparente. Ses cristaux sont aplatis et parallèles à la schistosité. Ils sont souvent groupés en étoile et ils appartiennent alors à la variété bien connue qui a été nommée actinote. Dans certains cas, ils ont été tronçonnés par une traction qui est parallèle à la schistosité et qui s'est exercée postérieurement à leur solidification. (Pl. VI, *fig.* 21.) Accidentellement l'amphibole est en veines obliques à la schistosité.

Le grenat présente sa couleur rouge habituelle. Il est généralement associé au quartz qui l'entoure souvent d'une auréole. Il arrive même fréquemment que les cristaux de grenat sont en grande partie formés de quartz grenu et saccharoïde qui cédant à l'influence d'une très-petite quantité de grenat s'est réuni en dodecaèdres rhomboïdaux.

Le grenat s'est développé avec l'amphibole, vers le milieu des micaschistes; mais il disparaît à mesure que l'amphibole augmente et qu'on se rapproche de la protogine : c'est l'inverse qui a lieu à mesure qu'on se rapproche de la dolomie.

Il arrive quelquefois que des aiguilles d'amphibole

traversent des cristaux de grenat. (Pl. VI, *fig*, 20).

Ces micaschistes sont très-riches en mica, surtout lorsqu'ils contiennent du grenat; ils peuvent aussi passer à des schistes cristallins.

On y distingue deux sortes de micas. Le plus abondant est celui que j'ai décrit antérieurement sous le nom de Damourite. Il a un éclat nacré et il est doux au toucher. Sa couleur est généralement d'un beau blanc, mais elle devient grise lorsque la roche est moins cristalline. Il est riche en alumine et son alcali dominant est de beaucoup la potasse. M. Dana le regarde comme une variété de l'espèce qu'il a appelée Moscovite (1). Ce mica enveloppe souvent le grenat autour duquel il s'infléchit.

Le deuxième mica est le mica ferro-magnésien. Au lieu de former des feuillets continus comme le précédent, il se présente en paillettes courtes et hexagonales qui sont disséminées dans la roche. Sa couleur est bruntombac ou noire.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que c'est dans ces micaschistes qu'on trouve les beaux cristaux de staurotide et de disthène qui sont connus de tous les minéralogistes. J'observerai toutefois que le disthène s'est développé non-seulement dans le micaschiste, mais très-souvent aussi jusque dans les veines de quartz.

D'autres minéraux moins importants de ces micaschistes sont, l'épidote qui accompagne le quartz et serpente dans le schiste avec hornblende, la chlorite en grandes lamelles d'un beau vert, la dolomie qui est surtout abondante près d'Aïrolo où elle forme dans les schistes des veinules postérieures à celles de quartz. Enfin il y a aussi de la pyrite magnétique.

(1) Dana. *Mineralogy*, fourth edition, t. II, p. 221.

Si l'on compare la fusibilité des principaux minéraux de ces micaschistes, on trouve que le grenat fond assez facilement ; viennent ensuite l'hornblende, la damourite, enfin la staurotide, le disthène et le quartz. Ici, de même que dans le granite, l'ordre de fusibilité n'est donc pas l'ordre de solidification de ces minéraux ; car, le grenat qui est le plus fusible, a cristallisé l'un des premiers; le quartz et le disthène qui sont infusibles, forment, au contraire, des veines qui serpentent dans le micaschiste et sont certainement restés fluides les derniers.

La dolomie et le gypse qui sont associés à ces schistes métamorphiques ont une structure cristalline grenue et saccharoïde. Leur couleur est blanche ou grisâtre. La dolomie contient de l'amphibole trémolite et à Campo-Longo on y trouve d'ailleurs divers minéraux (1).

Le gypse renferme du mica ferro-magnésien ayant une couleur brun-tombac ou rouge cuivré. Dans le val Canaria, il contient aussi du talc en belles lamelles vertes ayant un éclat argenté.

La partie centrale du Saint-Gotthard est constituée par une roche granitique ; mais bien que cette roche ne se fonde pas dans les schistes encaissants, elle n'a cependant pas un caractère aussi éminemment éruptif que celles qui se montrent en dykes ou en filons. Elle semblerait même être métamorphique et simplement transformée par une granitification. Les bandes de micaschiste qu'on trouve à une certaine distance du centre d'éruption paraissent en effet correspondre à des couches d'une nature différente, qui auraient mieux résisté au métamorphisme et qui conserveraient encore des traces de leur stratification. De même, les schistes cristallins

(1) *Bulletin de la Soc. géologique*, 2e série, t. IX, p. 129.

dans lesquels il y a une grande variété de minéraux magnésiens, notamment du grenat et de l'hornblende, proviennent sans doute de l'action exercée par la dolomie sur les silicates qui formaient les couches argileuses. Tous ces minéraux tendaient d'ailleurs à se développer avec une grande énergie; car les roches qui composent le massif du Saint-Gotthard sont très-cristallines.

Mais, quoi qu'il en soit, les schistes cristallins, la dolomie et le gypse n'ont certainement pas été amenés à l'état de fusion ignée. Bien que ces roches aient été complétement métamorphosées, leurs différentes couches se distinguent encore facilement lorsqu'on descend sur les flancs du Saint-Gotthard. D'ailleurs, rien n'indique qu'elles aient été fondues, ni même soumises à une température élevée : il suffit qu'elles aient été plastiques pour que leur structure soit devenue cristalline.

La présence du gypse, du talc et de minéraux hydratés, l'association intime du quartz avec des minéraux peu silicatés, tels que le grenat, les micas, le disthène, le staurotide, enfin l'ordre de solidification de ces divers minéraux, concourent encore à montrer que le métamorphisme des roches de Saint-Gotthard ne résulte pas d'une action ignée.

— Les feldspaths eux-mêmes appartiennent aux minéraux qui se développent le plus souvent dans les roches argileuses métamorphiques. *Feldspath.*

Dans différentes publications qui remontent déjà à plusieurs années, j'ai spécialement appelé l'attention sur ce sujet et j'ai constaté, par l'analyse, que les feldspaths formés par métamorphisme peuvent ap-

---

(1) *Bulletin de la Soc. géologique*, 4ᵉ série, t. IX, p. 464. — *Annales des Mines*, 5ᵉ série, t. III, p. 747.

partenir au cinquième ou au sixième système (1).

La feldspathisation des roches argileuses s'observe ordinairement dans les régions granitiques, mais elle n'est jamais limitée à une petite distance du contact. Elle paraît plutôt avoir accompagné la cristallisation des roches granitiques qu'elle ne résulte de leur action directe.

Quant à la nature du feldspath développé, elle dépend surtout de la composition originaire de la roche argileuse. Lorsque la soude était l'alcali dominant, il s'est formé un feldspath du cinquième système. Lorsque, au contraire, la potasse était l'alcali dominant, il s'est formé de l'orthose. Du reste, les deux feldspaths se trouvent réunis même dans les roches métamorphiques.

Quelques exemples suffiront pour préciser ces faits.

Anorthose. Roche granitique et Roche argileuse.

Le feldspath du sixième système s'est développé dans certaines couches du terrain dévonien qui entoure les massifs granitiques des ballons. Le phénomène s'observe surtout très-bien aux environs de Thann. La teneur en silice du feldspath est très-variable ; tantôt elle s'élève jusqu'à celle de l'albite ; tantôt, au contraire, elle s'abaisse au-dessous de l'oligoclase. Lorsque le feldspath n'a pas pu se former, on a des roches jaspées et pétrosiliceuses (§ 166). Il importe, d'ailleurs, de remarquer que la houille intercalée dans les couches feldspathisées a été métamorphosée en anthracite. Je n'insisterai pas plus longtemps sur ces phénomènes décrits déjà dans un mémoire spécial (1).

Orthose.

Enfin, l'orthose lui-même s'est aussi développé dans différentes roches et surtout dans les roches argileuses.

(1) *Annales des Mines.* 5e série, t. III, p. 747.

Il existe un grand nombre de gisements dans lesquels ce métamorphisme s'observe, et MM. Naumann, B. Cotta, Keilhau, l'ont signalé sur un grand nombre de points de la Saxe et de la Norwége. Granite et Schiste.

Les Vosges en offrent aussi des exemples remarquables. Revenons, en effet, sur les flancs des massifs granitiques des ballons. Nous verrons le schiste argileux devenir compacte, pétrosiliceux, et passer, sur certains points, à un schiste porphyrique contenant des cristaux d'orthose.

Ainsi, près du ballon de Guebviller, à Mitlach, entre Münster et Vildenstein, le granite à un mica est recouvert par du schiste de transition. Or, ce schiste présente certains bancs dans lesquels il passe à un véritable porphyre granitoïde. En effet, des cristaux d'orthose se sont développés parallèlement à la stratification; en même temps il s'est formé des paillettes de mica et un peu de quartz. Le tout est enveloppé dans une pâte euritique gris bleuâtre ou noirâtre.

Il est certain que cette roche schisteuse et porphyrique n'est pas un porphyre qui aurait été injecté entre deux couches de schiste, car elle a conservé des traces très-distinctes de schistosité; elle est en stratification concordante avec le schiste de transition dans lequel elle est intercalée. En outre, on y voit des veines pétrosiliceuses ou charbonneuses qui sont parallèles à la stratification. et qui démontrent une origine sédimentaire. Il s'est d'ailleurs formé de l'anthracite qui est en nodules minces et très-allongés (Pl. VI, *fig.* 3).

Cette métamorphose du schiste en porphyre est d'autant plus remarquable que le schiste des bancs contigus est resté à l'état d'ardoise.

En résumé, les feldspaths peuvent se développer dans les roches argileuses et comme l'observe M. Four-

net, le métamorphisme qui se produit alors est une *feldspathisation.*

Lorsque le feldspath qui se développe est de l'orthose, il est généralement accompagné par les minéraux du granite; dans ce cas, suivant l'expression consacrée par Keilhau, le métamorphisme est caractérisé par une *granitification.*

Je rappelle d'ailleurs que les métamorphoses dans lesquelles il s'est développé du feldspath ont généralement eu lieu sur une très-grande échelle, et qu'elles appartiennent surtout au métamorphisme normal.

§ 171. *Minéraux des gîtes métallifères.*

— Les minéraux des gîtes métallifères se trouvent assez fréquemment dans les roches argileuses qui ont été pénétrées par les éruptions de roches granitiques. Quelquefois ils sont à leur contact immédiat, mais le plus souvent ils sont seulement dans leur voisinage. Leur présence est d'ailleurs accidentelle.

§ 172. *Métamorphisme normal dans les Roches argileuses.*

— Les remarques que j'ai faites précédemment sur le métamorphisme normal des roches calcaires et siliceuses s'appliquent également aux roches argileuses. En effet, le métamorphisme que ces roches ont subi au contact des roches granitiques, s'observe encore quand elles sont très-loin de toute roche éruptive à laquelle on puisse l'attribuer. Elles éprouvent d'ailleurs les mêmes modifications dans leur structure, et en outre il s'y développe les mêmes minéraux.

Structure.

Si l'on considère leur structure dans certaines régions, notamment dans les montagnes, on la voit devenir lithoïde et surtout schisteuse. Elles passent alors au schiste ou à l'ardoise qu'on trouve très-souvent loin de toute roche éruptive.

Leur structure devient aussi celluleuse, comme nous l'avons déjà vu antérieurement (page 470). Enfin, elle peut également être jaspée par des veines de diffé-

rentes couleurs qui sont parallèles à la stratification.

Quant aux minéraux qui s'observent dans les roches argileuses, ils sont extrêmement variés. Ils ne diffèrent pas de ceux qui, dans les mêmes circonstances, cristallisent dans les roches calcaires et siliceuses (§ 151, 160). Leur formation doit augmenter la densité de la roche; car c'est ce qui a lieu habituellement quand la structure cristalline se développe dans une roche sans que la composition chimique soit altérée. *Minéraux.*

On comprend d'ailleurs que ces minéraux dépendent surtout de la composition originaire de la roche argileuse.

Lorsque cette roche sera une argile pure, les minéraux qui tendront spécialement à cristalliser sont l'andalousite, la staurotide, le disthène, c'est-à-dire les silicates d'alumine.

Lorsqu'elle sera argilo-calcaire et surtout magnésienne, il pourra s'y former du grenat, de l'hornblende et des silicates à base d'alumine, de chaux et de magnésie.

Lorsqu'elle renfermera des alcalis comme l'argilithe, il s'y développera des micas, des feldspaths, et des silicates contenant des alcalis.

Les minéraux riches en alumine tels que les micas, l'andalousite, la staurotide sont toujours très-fréquents, et il est facile de s'en rendre compte d'après la composition même des roches argileuses. La présence presque constante des alcalis explique maintenant pourquoi les fedspaths qui étaient rares dans les roches calcaires et siliceuses, deviennent au contraire extrêmement abondants. De plus, comme les roches argileuses sont généralement riches en silice, il n'est pas étonnant que lorsqu'elles cristallisent, elles soient traversées par un grand nombre de veines de quartz.

Les roches argileuses ne peuvent généralement pas,

comme le calcaire, cristalliser en un minéral unique. Cependant cela a lieu quelquefois, notamment lorsqu'elles sont intercalées dans des calcaires. Il me suffira de citer, comme exemple, les veines d'argile métamorphosées en grenat qui s'observent dans les calcaires cristallins des Pyrénées.

Souvent aussi les roches argileuses se changent en un agrégat complétement cristallin; c'est ce qui arrive, par exemple, quand elles passent au micaschiste et au gneiss. Et l'on ne doit pas s'en étonner; car, quand elles ont une composition complexe, des minéraux plus variés peuvent alors s'y former. En outre, comme elles ont une grande plasticité, des cristaux s'y développent dès qu'une cause quelconque met en jeu les actions moléculaires.

Si l'on considère maintenant les roches argileuses à différents degrés de métamorphisme, on reconnaîtra qu'elles sont fréquemment à d'énormes distances de toute roche éruptive. De plus, lorsque le gneiss, le micaschiste, le schiste ardoisier et mâclifère, les schistes cristallins se trouvent dans des régions granitiques, ils occupent presque toujours une surface beaucoup plus grande que le granite éruptif. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur la carte géologique de l'Europe publiée par M. Dumont. Quelquefois même les roches argileuses métamorphiques couvrent d'immenses étendues, dans lesquelles on ne voit pas du tout apparaître de granite. C'est par exemple, ce qui a lieu dans l'Ardenne, dans le sud-ouest de l'Irlande, dans une grande partie de la presqu'île scandinave, dans les Alpes et notamment dans les Alpes Noriques.

On ne saurait donc attribuer au granite les métamorphoses éprouvées par ces roches. On ne saurait non plus les attribuer à quelques rares filons de roches éruptives,

comme ceux qu'on trouve habituellement dans les terrains cristallins ; car nous avons vu que les effets dus au métamorphisme de contact sont généralement très-limités. Quant aux filons quartzeux et métallifères, ils n'ont pu produire également que des phénomènes très-bornés, tels que la silicification et la métallisation.

Ainsi, en général, les métamorphoses que les roches sédimentaires éprouvent sur une grande échelle, ont bien pu accompagner la cristallisation d'une roche granitique ou éruptive. Peut-être aussi ont-elles été déterminées par la formation même des montagnes? Mais, quelqu'en soit la cause, elles ne résultent pas d'une action de contact exercée par une roche éruptive, elles appartiennent au métamorphisme que l'on appelle normal.

Résumé. § 173. Résumé. — Roches granitiques et Roches argileuses.

Lorsque les roches argileuses se trouvent au contact des roches granitiques, il arrive souvent qu'elles n'ont pas éprouvé d'altération. Ce résultat paraîtra remarquable si l'on observe que ces roches sont très-faciles à modifier (§ 162). Quand on part d'un centre granitique, on rencontre ordinairement des roches qui sont de moins en moins métamorphosées et qui forment des zones concentriques; elles ont généralement été altérées jusqu'à une très-grande distance autour des massifs granitiques ; mais, c'est moins par une action directe que par le métamorphisme normal. Si l'on se borne aux effets qui se sont produits au contact immédiat, on trouve au contraire qu'ils sont très-limités.

Le métamorphisme des roches argileuses est d'ailleurs accusé par leur structure et par le développement d'un grand nombre de minéraux.

Leur structure peut devenir schisteuse ou lithoïde (§ 163, 164). Elle est aussi jaspée, mais on n'a pas

observé qu'elle fût vitreuse (§ 167). Quand les roches argileuses sont calcaires, leur structure est quelquefois cellulleuse ou amygdalaire (§ 165).

Les minéraux qu'on trouve près du contact forment souvent des veines qui serpentent dans la roche métamorphosée. On peut citer notamment les carbonates, mais surtout le quartz et en général les minéraux si variés des gîtes métallifères (§ 171).

D'autres minéraux se sont encore développés dans les roches argileuses elles-mêmes; ce sont généralement des silicates. En première ligne, je mentionnerai le mica qui s'est formé dans le schiste ardoisier, les schistes cristallins, le micachiste et le gneiss. Après viennent la mâcle (andalousite), la staurotide, le disthène, le grenat, l'hornblende, et enfin les feldspaths.

Ces minéraux présentent les mêmes caractères que dans les roches calcaires ou siliceuses qui sont métamorphiques.

Il importe surtout de remarquer que, s'ils se sont fréquemment développés au voisinage du granite, cela n'a pas toujours eu lieu; que de plus ils se montrent sur des étendues considérables dans lesquelles il n'y a même pas de roche éruptive. Par conséquent, on peut douter qu'ils doivent être attribués au métamorphisme de contact (§ 170, 172),

Du reste, les métamorphoses qui s'observent dans les roches contigues à des roches granitiques résultent beaucoup moins d'un métamorphisme de contact que d'un métamorphisme normal. Et quand on tient compte de la superposition habituelle de ces deux métamorphismes, l'on est tout surpris du peu d'importance des effets produits par les roches granitiques.

(La fin à une prochaine livraison.)

BULLETIN.

DEUXIÈME SEMESTRE 1857.

Recherches statistiques sur la mortalité des mineurs dans le district de Saint-Just en Penwith (Cornwall).

Après de justes considérations sur l'importance et les difficultés de son sujet, l'auteur annonce que, dans cette première communication, il borne ses renseignements au district de Saint-Just (extrémité ouest du Cornwall); qu'il les étendra ultérieurement aux autres districts et notamment à celui de Lelant (à l'est-nord-est de Saint-Just), et qu'il comprendra dans ses investigations la population agricole, afin d'arriver à comparer la santé relative des deux classes ouvrières habitant les mêmes localités. Puis il continue ainsi :

« Dans ce travail, je considère le nombre annuel des décès, et je les divise en quatre groupes :

» 1° Mineurs; vie moyenne, nombre et causes des décès;

» 2° Hommes au-dessus de cinq ans; nombre et causes des décès;

» 3° Femmes au-dessus de cinq ans;

» 4° Enfants des deux sexes au-dessous de cinq ans.

» Chaque année fait l'objet d'un examen séparé, et les résultats en sont repris sommairement pour chaque période de cinq ans et accompagnés des observations auxquelles chaque paroisse peut donner lieu.

» Ces résultats sont figurés en centièmes; cette forme donne aux renseignements une évidence qu'ils ne sauraient avoir avec les nombres tels quels.

» Il est nécessaire de prévenir que, dans tout ce qui suit, on regarde comme mineurs tous les individus âgés de plus de huit ans qui ont travaillé régulièrement dans une mine pendant un laps de temps quelconque d'au moins un an.

» Je sais que, tant par maladies que par accidents, beaucoup

ont dû quitter les travaux longtemps avant leur mort; mais ces maladies ou infirmités ayant été contractées dans les mines, j'ai dû les compter dans la classe des mineurs. »

Vie moyenne des mineurs.

En établissant la statistique des décès des mineurs, on a été conduit à constater que la plupart des accidents de mines arrivaient à de jeunes ouvriers, et que les morts par chute ou explosion frappaient surtout les plus jeunes. C'est ce qu'indique le registre de Saint-Just et ce que confirme l'examen des autres districts. La vie moyenne d'un mineur est beaucoup plus longue, et en faisant la part de l'imprudence de la jeunesse, des accidents qu'on ne saurait prévenir, ainsi que des effets de l'air vicié (qui amène des étourdissements, faiblesses et même évanouissements), il y a entre l'âge où ces accidents abondent et la vie moyenne un écart qui mérite examen.

Les accidents non suivis de morts sont dans le même cas, et pendant les dix dernières années les accidents pour lesquels M. Couch a été appelé avaient atteint (à peu d'exceptions près) des ouvriers de moins de vingt-huit ans, la majeure partie étant âgés de moins de vingt ans.

Il en était encore ainsi pour ceux qui l'ont consulté pour maladies.

Cette différence considérable ne pouvait provenir que d'une erreur, et pour arriver à sa source, M. Couch se procura des listes donnant les noms et âges de tous les hommes employés et le temps pendant lequel ils ont été occupés dans la mine.

Au moyen de ces renseignements, on peut arriver à comparer l'*âge* moyen des ouvriers en activité et leur vie moyenne.

D'après le registre des décès, la vie moyenne des mineurs a été, de 1837 à 1856 :

Année.	Vie moyenne.	Année.	Vie moyenne.	OBSERVATIONS.
1837	49,9	1847	53,0	Le maximum 53 ans fut atteint en 1847; le minimum 42 ans en 1852. La période de 20 années donne, comme moyenne générale, 47 ans, chiffre bien au-dessus de la longévité du mineur actif.
1838	45,5	1848	52,2	
1839	47,3	1849	49,4	
1840	44,0	1850	44,9	
1841	50,0	1851	49,0	
1842	45,1	1852	42,0	
1843	52,2	1853	46,2	
1844	48,4	1854	47,6	
1845	42,7	1355	44,7	
1816	45,5	1856	41,6	

Pour obtenir le second terme de comparaison, on a choisi, sans dessein spécial autre que fournir un bon exemple moyen, les trois mines de Balleswidden, Levant et Ding-Dong, et on y regarde comme mineurs tous ceux qui travaillent ou ont travaillé souterrainement, pourvu qu'ils soient encore employés sur la mine; on y comprend aussi les boiseurs.

Cette base d'évaluation devra évidemment donner des nombres plus élevés que si l'on ne comptait comme mineurs que ceux occupés dans les travaux ou depuis un an seulement à la surface.

A Balleswidden, on compte 303 hommes et gamins employés à ce qu'on peut appeler travaux des mines (Mining operations), et leur âge moyen est vingt-neuf ans quatre mois. Mais si de la totalité nous retranchons les boiseurs et ceux qui ne descendent qu'occasionnellement, cet âge moyen tombe à vingt-six ans neuf mois.

Dans les chantiers souterrains, le plus jeune mineur a onze ans, le plus vieux soixante-quatorze; ce dernier est faible pour son service et ne travaille qu'aux étages supérieurs. C'est entre onze et vingt-cinq ans que varie l'âge du plus grand nombre.

En établissant ainsi l'âge moyen du mineur actif, il ne faut pas oublier que, dans ces dernières années, un grand nombre de mineurs vigoureux ont émigré en Australie et autres contrées; il est impossible de déterminer leur âge.

A la mine Levant, à laquelle travaillent maintenant ou ont travaillé en qualité de mineurs 206 hommes et gamins, l'âge moyen est vingt-huit ans dix mois; mais pour ceux que nous appellerions mineurs proprement dits, cet âge est vingt-sept ans onze mois, le plus grand nombre compris de dix à vingt-cinq.

Les deux plus jeunes ont dix ans; les deux plus vieux, soixante-onze et soixante-quatorze. Celui qui a soixante-onze ans travaille encore dans la mine; celui qui en a soixante-quatorze est depuis quelques années occupé au jour.

A Ding-Dong, les 206 hommes et gamins donnent un âge moyen de vingt-six ans un mois; si l'on compte seulement ceux actuellement employés dans la mine, l'âge moyen tombe à vingt-quatre ans. Les deux plus jeunes ont huit ans, ce qui est par trop jeune, et le plus âgé a soixante-quatorze ans; il est utilisé comme sécheur (dryman) à la surface.

L'âge du plus grand nombre varie de huit à vingt ans.

Dans les trois mines en question (et elles peuvent être prises comme type pour les autres mines en général), on remarquera que les âges des mineurs en activité donnent des chiffres inférieurs à ceux du registre des décès.

La différence est si grande qu'il faut insister sur ce point. Voici un tableau qui montre le mode de répartition des âges et l'âge moyen :

AGES.	NOMBRE D'OUVRIERS.			
	Balles-widden.	Levant	Ding-Dong.	Totaux.
Au-dessous de 15 ans	41	29	61	131
De 15 à 20	44	45	52	141
— 20 à 25	47	37	17	101
— 28 à 30	28	16	17	61
— 30 à 35	24	15	9	48
— 35 à 40	25	12	18	55
— 40 à 45	15	18	10	43
— 45 à 50	14	15	9	38
— 50 à 55	16	13	7	36
— 55 à 60	6	3	10	19
— 60 à 65	2	»	3	5
— 65 à 70	1	»	»	1
— 70 à 75 ans	1	2	2	5
Age moyen.	29^a 4^m	28^a 10^m	26^a 1^m	»

De ce tableau ressort que la période de quinze à vingt ans comprend le plus grand nombre des ouvriers ; celle qui vient après (de huit à quinze ans) donne des nombres tellement rapprochés qu'il semble probable que, dans quelques districts, la période au-dessous de quinze ans peut être la plus chargée. C'est de dix à vingt ans que paraît être la principale époque d'activité. A partir de vingt ans, il y a diminution ; puis de quarante à cinquante-cinq, faibles variations en plus ou en moins.

Que la mort par accidents frappe sur les jeunes hommes ; c'est là un fait tout expliqué et dont la théorie des probabilités suffit pour rendre parfaitement compte.

Ce point une fois éclairci, il devient facile de concevoir la différence signalée ci-dessus entre la vie moyenne du mineur, telle que l'indique le registre des décès, et l'âge moyen des ouvriers en activité.

Les accidents sont nombreux et les maladies contribuent puissamment aussi à arrêter le mineur au milieu de son service.

Quelques-uns résistent moins que d'autres; mais presque tous sont obligés, lorsqu'ils avancent en âge, de chercher la besogne la moins pénible et la moins malsaine, en abandonnant à de plus jeunes les travaux plus fatigants.

Beaucoup sont brusquement mis hors de service; les uns, par suite d'explosions, perdent la vue; d'autres, une main et parfois un pied. Sous l'influence des maladies de poitrine, on voit aussi des mineurs obligés de renoncer pour toujours à leur métier.

Dans ces circonstances diverses, que les hommes soient soutenus par la Société de secours mutuels (Club) ou qu'ils tombent directement eux et leur famille à l'hospice public (Union), ils peuvent vivre longtemps sans ouvrage, et à leur mort sont enregistrés comme mineurs.

C'est ce qui fait que, d'après le registre des décès, la durée de la vie moyenne du mineur est de quarante-sept années, tandis que les relevés des mines indiquent comme terme moyen du service actif vingt-huit ans un mois, soit près de dix-neuf ans de différence. De sorte que si l'on considère un enfant de dix ans commençant à travailler dans une mine, on pourra dire en moyenne que sa vie se prolongera jusqu'à quarante-sept ans, mais que son temps de service effectif sera terminé au bout de dix-huit ans, c'est-à-dire lorsqu'il ne fera qu'atteindre vingt-neuf ans, âge du développement et de la vigueur de l'homme dans la plupart des autres professions.

Chaque année a fait l'objet d'un examen particulier, et des remarques générales sont présentées sur chaque période de cinq années.

La dernière période, finissant en 1856, diffère peu des précédentes; nous n'exposerons ici que ce qui la concerne.

Maladies. — De 1852 à 1856.

Les maladies de poitrine sont extrêmement fatales; elles constituent une classe plus nombreuse que toute autre, et dans beaucoup de cas, leurs effets sont équivalents à ceux de toutes les autres maladies réunies.

Les mineurs en souffrent plus cruellement que le reste de la population, ainsi que cela ressort du tableau suivant :

Années.	Mineurs.	HOMMES au-dessus de 5 ans.	FEMMES au-dessus de 5 ans.
1852	41,46	21,21	18,18
1853	50,50	17,24	23,91
1854	50,00	40,00	36,53
1855	56,66	23,52	23,21
1856	50,00	40,00	16,07
Moyenne.	49,66	28,39	23,58

Le minimum que l'année 1852 a donné pour les décès de mineurs par suite de maladies de poitrine, provient exclusivement de ce qu'en 1852 un grand nombre des plus jeunes mineurs moururent de la petite vérole.

Si l'on s'en tenait à des périodes peu étendues, une épidémie de ce genre ôterait aux moyennes toute leur valeur; mais en se reportant au laps de temps compris entre 1837 et 1846, on trouve que sur 100 cas de mort, 51,28 sont pour les mineurs l'issue fatale de maladies de poitrine.

Si l'on écarte les morts par accidents, on trouve que sur 100 décès par maladie, 62,43 résultent d'affections pulmonaires.

Une si grande mortalité par suite d'une seule cause, ou plutôt d'une seule espèce de maladie, appelle une sérieuse attention.

L'auteur se livre ici à des considérations dans lesquelles nous ne le suivrons pas.

Il continue :

« La plupart des habitants de ce district, si l'on en excepte ceux qui n'ont rien de commun avec les travaux de mines, sont pâles et d'un aspect maladif.

» On n'en voit jamais d'incommodés par l'embonpoint; ils sont maigres et accusent un tempérament lymphatique et scrofuleux.

» Ceux, au contraire, qui n'ont pas à gagner leur vie ou qui sont livrés à l'agriculture, sont forts et colorés comme partout ailleurs.

» Les enfants se ressentent gravement (comme on devait s'y attendre) de l'état maladif des adultes. Une grande partie

meurt, rien que de faiblesse, avant d'atteindre l'âge d'un an.

» La grande mortalité qui règne sur les enfants, conséquence de la profession pénible des parents, mérite donc qu'on s'y arrête quelque peu. »

Sans entrer dans le détail des maladies auxquelles ils succombent et en répétant toutefois que la majorité meurt dans la première année, l'auteur donne un tableau de la mortalité des enfants des deux sexes au-dessous de cinq ans depuis 1841 jusqu'à 1856 ; la moyenne de ces seize années montre que sur

Enfants du sexe masculin	100
Enfants du sexe féminin	100

il en meurt au-dessous de cinq ans :

Enfants du sexe masculin.	67,07
Enfants du sexe féminin	45,73

Encore ces nombres sont-ils, par suite du mode de calcul qui conduit à négliger les décimales, plutôt au-dessous de la vérité.

C'est là une mortalité qui dépasse celle de Londres et des grandes villes les plus encombrées d'habitants, même celles de Liverpool et Manchester, deux des villes les plus insalubres d'Angleterre.

Des rapports du *General Registrar* de 1853 à 1856, on a extrait le tableau suivant :

LOCALITÉS.	DÉCÈS.			
	SEXE MASCULIN		SEXE FÉMININ	
	au-dessous de 5 ans.	Totaux.	au-dessus de 5 ans.	Totaux.
Londres	13.245	30.852	11.468	29.217
Paris (1856) (a)	5.111	14.444	4.629	15.145
Comtés du sud-ouest de l'Angleterre.				
Wiltshire	917	2.646	716	2.662
Devon	1.885	5.708	1.641	5.720
Dorset	611	1.769	488	1.752
Cornwall.	1.543	3.797	1.344	3.688
Somerset	1.501	4.568	1.301	4.745

(a) Addition du traducteur (*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1858. Mathieu, pages 152 à 155).

Ce tableau montre que les morts en bas âge sont plus nombreuses dans le Cornwall que dans aucun autre des cinq comtés du sud-ouest. Encore le district de Saint-Just pris isolément donne-t-il des nombres plus défavorables, probablement compensés ci-dessus par l'influence de l'élément sain et robuste de la population agricole du Cornwall.

Les circonstances climatériques sont tout à fait analogues dans le Devon et le Cornwall; mais le Devon n'a qu'un petit nombre de mines, pas d'ateliers insalubres, et l'agriculture y est très-développée; aussi la mortalité des enfants y est-elle moindre que dans tous les autres comtés.

A l'âge de cinq ans, les occupations de l'enfant ne sauraient influer sur sa santé, car dans le Cornwall aucun enfant ne travaille avant neuf ou dix ans; jusque-là, ils vont à l'école ou courent en liberté. A l'opposé des enfants des grandes villes, ils respirent l'air pur de l'Océan; le district est élevé et salubre, et malgré tant d'avantages, la mort frappe surtout le premier âge. C'est dans la faiblesse de constitution des parents, faiblesse qu'ils transmettent à leur progéniture, qu'il faut en rechercher la véritable cause.

Note du traducteur. — Les nombres indiqués ci-dessus ne permettent pas de calculer exactement ce qu'on définit ordinairement *vie moyenne* de l'individu; cependant je crois qu'ils peuvent suffire pour une approximation.

On a regardé comme mineurs tous ceux occupés aux travaux de mine à partir de huit ou dix ans, et le registre des décès donne pour ces ouvriers une vie moyenne de quarante-sept ans.

De zéro à cinq ans, il meurt 64 p. 100 des enfants mâles, la majorité ne vivant pas un an; de cinq à dix ans, la mortalité est faible. (Ainsi, à Carlisle, sur 10.000 venant au monde, il en reste vivants, à cinq ans, 6.797; à dix ans, 6.460.)

En admettant pour 66 p. 100, ou les deux tiers des enfants mâles, une existence moyenne de cinq années, et pour le dernier tiers, la vie du mineur, soit quarante-sept ans, on arrivera certainement à un maximum

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}66 \times 5 = 3{,}30 \\ 0{,}33 \times 47 = \underline{15{,}51} \\ \qquad\qquad\quad 18{,}81 \end{array}\right\} \text{Ce maximum est } 18^{\text{ans}}{,}81.$$

En sorte que parmi la population des mineurs du district de

Saint-Just, l'enfant mâle destiné à la profession de ses pères a une vie moyenne de moins de dix-neuf ans; vie extrêmement courte, si on la compare à la durée de la vie moyenne en France, qui a été (1) :

De 1817	à 1824	....	31ans,8
De 1817	à 1854	....	34 ,4
De 1847	à 1854	....	37 ,4

(*Extrait d'un mémoire présenté à la Société royale polytechnique de Cornwall*, par M. le docteur K. Couch. — Traduit et abrégé par M. L. Moissenet, ingénieur des mines.)

Sur l'extraction de la houille dans l'Oural.

C'est en 1851 qu'a commencé l'exploitation du charbon de terre sur le versant oriental de la chaine de l'Oural, dans le gouvernement de Perm, sur la rive droite de la rivière Pyschma, dans les gisements de Soukholojsk qui appartiennent à l'État et dépendent de l'administrations des usines d'Écathérinbourg. En 1851, on a retiré 13.500 pouds de charbon; en 1852, 47.000; en 1853, 64.000; en 1854, 166.000; en 1855, 308.828; et en 1856, 279.265. En tout, 878.593 pouds.

Le charbon de Soukholojsk est employé au chauffage des machines à vapeur de l'usine de Kamenski, dans la fabrique de machines d'Écathérinbourg pour les fourneaux à braser le fer ainsi que pour forger les objets pesants, et dans la division de la fabrique des armes pour la préparation de canons de fusil. Le coke que l'on en retire est envoyé à l'usine de Votkinsk, où on l'emploie pour forger les chaînes à ancres; transport compris, ce coke revient environ à 15 cop. le poud.

Sur la rive gauche de la même rivière (Pyschma) et sur une étendue égale en longueur à celle de l'exploitation ci-dessus, se trouvent, dans les campagnes des paysans de la couronne, dix gisements de charbon de terre que doit exploiter la compagnie industrielle des produits animaux.

Dans la première moitié de l'année courante, il n'a encore été fait que des travaux de recherches; mais le charbon que l'on a trouvé est remarquable par son excellente qualité.

Sur le versant occidental de l'Oural, l'exploitation du char-

(1) *Annuaire du bureau des longitudes* pour 1858, page 174.

bon de terre a lieu dans les terres dépendant de l'usine d'Alexandrovsky qui appartient à M. N. Vsevolojsky, dans le district de Solikamsk, du même gouvernement (Perm). Cette exploitation a commencé en 1853 ; elle a fourni la première année 6.018 pouds de charbon; en 1854, 48.041 pouds; en 1855, 112.235, et en 1856 (jusqu'au 1er octobre seulement) 142.135. En tout, 308.429 pouds. Ce charbon est employé dans l'usine d'Alexandrovsky pour les fourneaux à braser et d'affinage (il y en a cinq), pour le chauffage des chaudières à vapeur, et pour les forges où l'on prépare les meilleurs instruments et les objets volumineux.

En résumé, l'exploitation du charbon de terre dans l'Oural a produit pour les trois dernières années, en 1854, 214.041 pouds; en 1855, 421.063, et en 1856 (jusqu'au 1er octobre), 421.400. En tout, 1.056.504 pouds. De plus, on a déjà fait des travaux préparatoires pour procéder à l'exploitation d'un gisement de charbon qui se trouve dans les terres de l'usine d'Arkhangelo-Paschinsk, appartenant au prince Galitzine.

(*Extrait du* Journal des mines russes, *par* M. de Vallat, *consul général de France à Saint-Pétbourg.* — 2 décembre 1857.)

Sur le projet d'éclairage des mines par le gaz.

La société des ingénieurs civils de Londres a consacré récemment une séance à la lecture et à la discussion d'un mémoire sur l'éclairage des mines par le gaz. La pensée de cette innovation a été suggérée, d'abord, par une question d'économie dont quelques chiffres feront suffisamment apprécier l'importance. Les frais d'éclairage des mines du Royaume-Uni, par l'huile et la chandelle, s'élèvent annuellement à 500.000 liv. st., soit 12.500.000 fr., et dans une seule des grandes mines de ce dernier comté, elle atteint, pour les chandelles seulement, le chiffre de 175.000 fr. Au désir bien naturel de réduire des frais aussi considérables, est venue, d'ailleurs, s'ajouter la conviction que le mode actuellement employé a de grands inconvénients pour l'état sanitaire des ouvriers, et ces considérations étaient plus que suffisantes pour déterminer l'essai qui vient d'être fait.

Une mine comparativement peu importante, celle de Balleswiden, dont l'exploitation est à une profondeur de 260 mètres,

et qui occupe environ 340 mineurs, a été choisie pour l'expérience. Chaque homme y brûlait en moyenne 4 chandelles par huit heures de travail, et cet éclairage constituait, au bout de l'année, une dépense de 834 liv. st. (21.300 fr.). Il est maintenant complétement remplacé par le gaz, qu'un réseau de tuyaux en fer et de tubes flexibles amène d'un gazomètre placé à l'extérieur, et distribue de distance en distance, le long des échelles, dans les chambres des mineurs et dans les galeries.

Ce nouveau système coûterait, tous frais compris, 487 l. st. (12.175 fr.), et réaliserait ainsi sur l'ancien une économie de près de 50 p. 100. Comme on n'a pas manqué de le faire observer, il y aurait encore plus d'avantage à l'employer si plusieurs mines voisines étaient appelées à profiter du même gazomètre. Indépendamment de cette importante réduction dans la dépense, le travail, grâce à une augmentation de clarté, se ferait mieux; les travailleurs perdraient moins de temps en n'ayant pas à s'occuper de l'éclairage; enfin, l'air de la mine n'étant plus imprégné, comme par le passé, de l'odeur fétide qu'entraîne après elle la combustion imparfaite de l'huile et du suif, les conditions de ventilation seraient infiniment meilleures.

Tels sont les faits qu'on a révélés à la séance de la société des ingénieurs, en ce qui concerne l'emploi du gaz dans les mines de cuivre, de plomb et d'étain. On y a même émis l'espoir qu'avec certaines modifications rendues nécessaires par la présence des gaz inflammables, ce mode d'éclairage pourrait, dans la suite, s'étendre également aux mines de charbon.

(*Extrait d'une communication adressée à M. le ministre des affaires étrangères, par* M. GAILLARD DE FERRY, *consul général de France à Londres.* — 8 décembre 1857.)

Exploitation de l'anthracite dans les terres de l'armée du Don.

Dispositions générales du ministère de la guerre, du 17 *août - 5 septembre* 1856.

Le ministère de la guerre russe a publié dans la *Gazette du Sénat* du 28 septembre-10 octobre dernier, un règlement général concernant l'exploitation des riches gisements d'anthracite

situés sur le territoire des Cosaques du Don, entre le Dniéper et le Donetz. Ce document paraît offrir un grand intérêt dans les circonstances actuelles.

Le développement de la navigation à vapeur sur le Volga, le Don, le Dniester et le Dniéper, ainsi que dans la mer Noire et la mer d'Azoff; l'établissement projeté des voies ferrées dans le midi de l'Empire; la rareté ou plutôt le manque absolu de bois à brûler dans cette contrée, et enfin l'expérience de la dernière guerre, ont fait reconnaître au gouvernement russe la nécessité de donner une nouvelle impulsion à l'industrie dont il s'agit. Convaincu qu'il n'obtiendra que de la concurrence, une exploitation rationnelle, pratiquée sur une grande échelle, et le bon marché des produits, il a déclaré que l'extraction du combustible minéral, dans le pays du Don, ne pourrait jamais être l'objet d'un monopole et serait libre pour tout individu originaire du territoire. En conséquence, les compagnies qui se présenteront dans ce but seront admises à se constituer sans limitation de nombre, et sous la seule réserve d'observer certaines conditions relatives au système d'exploitation ainsi qu'à la conservation de la santé des ouvriers, et d'acquitter une redevance d'un demi-copek par poud de charbon extrait du sol (1f,20 par 1.000 kil.).

Dispositions générales adoptées par le ministre de la guerre, en date des 17 août, 6 septembre 1856.

Le conseil d'administration de la guerre, après avoir examiné la proposition du département des colonies militaires, la note de l'ataman en chef des troupes du Don et celle de la division des institutions militaires, concernant la concession faite à la compagnie russe de navigation à vapeur et de commerce, d'une exploitation de charbon de terre dans les terres de l'armée du Don, a reconnu : que dans le but d'aider au développement de cette industrie dans les terres de l'armée du Don, les bases établies en 1851 par le conseil avaient, sur l'avis du conseil de l'Empire, reçu la sanction impériale le 22 octobre de la même année; mais que, depuis 1851, les circonstances qui avaient alors motivé ces mesures ont considérablement changé.

L'entretien, dans la mer Noire, de navires de guerre exclusivement à vapeur; l'établissement prévu des chemins de fer dans le midi de l'Empire; la création de la compagnie russe de navigation à vapeur et de commerce dans la mer Noire, la mer

d'Azoff et la Méditerranée, ainsi que sur le Bug, le Dniéper et le Don; le développement de la navigation à vapeur sur le Volga, et enfin le prix du bois à brûler, qui va toujours en augmentant dans les contrées méridionales, par suite de l'appauvrissement des bois : tout cela donne la conviction que l'emploi du charbon de terre pour les navires à vapeur, les chemins de fer et même le chauffage des habitations particulières, exigera une quantité de ce produit incomparablement plus considérable que celle présumée par le gouvernement en 1851.

En outre, la nécessité de procurer aux consommateurs le charbon de terre au plus bas prix possible, doit être l'objet de l'attention toute particulière du gouvernement; car les entreprises auxquelles se lie l'emploi du charbon de terre ne peuvent prospérer et même exister qu'autant qu'il leur sera possible de se procurer ce combustible à des prix modérés; et pareillement, le prix peu élevé de ce minéral pourra seul engager les habitants de beaucoup de gouvernements à l'employer pour le chauffage, et à contribuer ainsi à la conservation des bois, si nécessaire sous divers rapports.

Mais à peine aurait-on l'espoir de voir livrer le charbon à bas prix si l'exploitation dans les terres du Don en était abandonnée à une seule compagnie, ou si elle était faite par des ouvriers, soit isolés, soit réunis, des habitants de la localité; car, faute de moyens, les habitants du pays du Don ne seraient point en état d'établir des machines à vapeur ni d'autres instruments perfectionnés pour l'exploitation du charbon, et pouvant seuls en abaisser le prix; et la compagnie, en l'absence de toute concurrence, n'abaisserait certes pas ses prix au détriment de ses propres intérêts.

De ce qui précède, il résulte pour le conseil d'administration de la guerre la conviction que l'exploitation du charbon de terre dans les possessions de l'armée du Don doit être établie sur des bases telles que, d'une part, elle puisse suffire à l'alimentation de toutes les demandes, et cela au plus bas prix possible, et que, de l'autre, elle soit aussi profitable que possible aux intérêts de l'armée du Don.

A ces fins, le conseil a jugé indispensable, pour échapper aux inconvénients du monopole, de faire de l'exploitation du charbon de terre, dans les possessions de l'armée du Don, une industrie libre, et d'autoriser dans ce but l'établissement de

toutes les compagnies qui se formeront sur les bases suivantes :

1° L'établissement de compagnies ayant le droit de vendre le charbon, tant sur les lieux d'exploitation qu'en dehors de ces localités, dans tous les gouvernements de la Russie, sera permis, sans aucune limitation du nombre de ces compagnies, aux personnes appartenant à l'armée du Don.

2° Les sociétés formées de personnes qui n'appartiennent pas, par leur origine, à l'armée du Don, ne seront autorisées qu'autant qu'elles auront été établies pour des entreprises dont le cercle d'action se lie avec l'emploi du charbon de terre, telles que les compagnies de chemins de fer, de navigation à vapeur, pour la fonte des métaux dans de vastes proportions, etc., etc. Ces sociétés pourront également opérer la vente du charbon, tant dans les limites des possessions de l'armée du Don qu'en dehors de ces possessions.

3° Les compagnies désignées aux §§ 1 et 2 pourront, en se conformant à l'art. 457 du tome VII des lois de l'Empire, règlements des mines (édit. de 1842), choisir dans les endroits qui leur conviendront, pour l'extraction du minéral, un emplacement d'une verste quarrée ou 250.000 sagènes quarrées. Cette superficie pourra avoir la longueur et la largeur jugées nécessaires, suivant la position et l'étendue des gisements de charbon.

4° Les limites de cet emplacement à la surface devront, conformément à l'art. 2207 du règlement des mines, servir également de limites à l'extraction du minerai.

5° Le capital de la compagnie pour l'exploitation du charbon, devra être pleinement suffisant pour l'extraction du charbon sur une grande échelle, et pour que les travaux se continuent sans interruption.

6° Le terme fixé pour la durée des compagnies est de vingt années, sauf la faculté laissée à ces compagnies, deux ou trois ans avant l'expiration du terme ci-dessus indiqué, de solliciter une prolongation de durée de vingt années ou plus, et une concession complémentaire, si cela paraît nécessaire. Ces demandes seront soumises à l'examen du gouvernement.

7° On se conformera exactement, dans l'exploitation du charbon, aux règles de la science des mines, en ce qui a rapport à l'établissement des puits et galeries de mines, au renouvellement de l'air dans les mines et à l'épuisement des

eaux, de n'exposer ni la vie ni la santé des ouvriers; en ce qui concerne les autres exigences de la science, pour le plus ou moins de facilité à abattre l'anthracite, son transport dans les galeries des mines jusqu'aux puits, et les moyens de l'élever au jour, ainsi que le moyen d'épuiser l'eau des mines, l'observation en est laissée aux soins des exploitants.

8° Les compagnies payeront pour leur droit d'exploitation, au profit de l'armée du Don, un demi-copeck argent par poud de charbon transporté du lieu d'exploitation, soit pour la vente, soit pour d'autres besoins.

9° Chaque compagnie sera tenue, dans le délai de quatre années à partir de la conclusion de son marché avec l'administration de l'armée du Don, d'installer son exploitation du charbon sur une grande échelle; et comme garantie de l'exécution de cet engagement, elle devra, au moment même où son marché sera conclu, verser un cautionnement de 30.000 roubles. Ce cautionnement devra, par la suite, servir de garantie pour le payement annuel des droits fixés au profit de l'armée du Don sur le charbon exploité.

10° Les quantités de charbon qui devront être extraites annuellement ne sont pas fixées, en vue de ne point mettre obstacle à l'établissement des compagnies, et en considération de ce que, dans le moment actuel, les demandes de charbon sont encore insignifiantes.

Ayant ensuite reporté son attention sur l'examen des règles à suivre concernant les travaux entrepris pour exploiter le charbon de terre par les habitants de l'armée du Don, soit isolément, soit en commun, le conseil d'administration de la guerre a jugé que, si l'on ne peut espérer un grand développement de ces travaux particuliers, concurremment avec les compagnies, néanmoins il est impossible de ne pas assigner certaines limites à cette industrie, qui devra avoir une assez grande influence sur l'abaissement des prix du charbon; et en même temps on ne saurait priver les habitants des terres du Don des moyens de se procurer cet avantage. En conséquence, le conseil a jugé utile de faire les modifications suivantes aux règles concernant l'exploitation du charbon par les habitants des terres de l'armée du Don :

1° Pour les travaux entrepris, soit isolément, soit en commun, par les habitants des terres du Don, dans le but de se procurer le charbon, l'administration du Don choisira des em-

placements d'une verste quarrée dans divers arrondissements des possessions de l'armée du Don.

2° Ces emplacements seront divisés en dix parties ou un moins grand nombre, et celles-ci subdivisées en parts, chacune d'une contenance de 2.500 à 5.000 sagènes quarrées; elles seront concédées aux habitants à raison d'une par personne. La contenance précise de ces parts sera fixée après examen de l'autorité et selon les facilités que présentera la localité.

3° Dans ces portions de terrain, il sera permis d'entreprendre, soit des travaux isolés dans l'une d'elles, soit des travaux en commun dans plusieurs, pour exploiter le charbon.

4° Comme droit d'exploitation, il sera perçu, au profit de l'armée du Don, un demi-copeck argent par poud de charbon extrait et enlevé pour la vente. Le même droit est établi sur le charbon provenant des exploitations de Grouchevsky qui sont en activité; mais cette mesure ne sera appliquée que lorsque commencera la perception sur le charbon à provenir des nouvelles concessions.

5° On devra, dans l'exploitation du charbon, se conformer aux règles prescrites à ce sujet par la science des mines, exactement sur les mêmes bases que celles déjà établies pour l'exploitation par les compagnies.

6° L'exploitation du charbon, dans ces portions de terrain, est limitée à un terme de vingt années.

En ce qui concerne la permission d'exploiter le charbon de terre accordée à la compagnie russe de navigation à vapeur et de commerce, le conseil a décidé de faire savoir au ministre des finances qu'en conséquence de la confirmation de ses statuts, cette société peut être mise en possession d'une portion de terrain de la contenance d'une verste quarrée dans la localité qui lui semblera convenable, et que l'exploitation du charbon, dans cette concession, devra se faire sur les bases établies pour l'exploitation du charbon par les compagnies.

Enfin, en ce qui concerne les statuts présentés par la compagnie existant déjà sur le Don, et le projet de règles à suivre dans l'exploitation du charbon par les habitants des terres du Don, le conseil a décidé que : aussitôt après la confirmation souveraine des règles qu'il a adoptées en projet, 1° on en donnerait connaissance aux fondateurs des compagnies, afin qu'ils puissent modifier leurs projets de statuts selon ce qui sera nécessaire, et les soumettre ensuite à l'approbation souve-

raine, par l'intermédiaire de l'ataman de l'armée du Don; 2° le projet de règlement pour l'exploitation du charbon par les habitants des terres de l'armée du Don, modifié et complété comme il sera nécessaire, sera soumis à l'approbation souveraine dans la forme voulue.

S. M. l'Empereur, le 7-19 août de l'année courante (1856), a daigné confirmer la présente décision du conseil d'administration de la guerre, et approuver les règles posées par ledit conseil pour l'établissement des compagnies ayant pour but l'exploitation de l'anthracite dans les terres de l'armée du Don, ainsi que l'ordre établi pour cette exploitation par les habitants des terres du Don.

Règles concernant l'établissement des compagnies particulières ayant pour but l'exploitation de l'anthracite du Don.

1° En vue de développer l'industrie du charbon de terre dans les possessions de l'armée du Don, on autorisera toutes les compagnies ayant pour but l'exploitation de l'anthracite du Don, qui seront fondées conformément aux règles établies dans les lois civiles, et composées soit de personnes appartenant par leur origine à l'armée du Don, soit de personnes d'autres conditions.

Les fondateurs seront libres de constituer leur société avec l'un ou l'autre de ces deux éléments.

2° Le nombre des sociétés ou compagnies qui se proposeront pour but, l'exploitation du charbon de terre du Don, n'est pas limité; mais les sociétés ou compagnies composées de personnes qui n'appartiennent point par leur origine à l'armée du Don, ne seront autorisées qu'autant qu'elles auront été établies pour des entreprises dont le cercle d'action se lie directement à l'emploi du charbon de terre, comme c'est le cas pour les compagnies de chemins de fer, de navigation à vapeur, les usines pour la fonte des métaux sur une vaste échelle, etc., etc.

3° Le capital fondamental de ces compagnies ou sociétés doit être pleinement suffisant à l'exploitation des mines sur une grande échelle. L'autorité supérieure appréciera si le capital fondamental à ce destiné est suffisant.

4° Les compagnies ou sociétés ne pourront, pendant toute la durée de leurs contrats, aliéner ou céder à des personnes étrangères aucune exploitation de charbon dans l'étendue de leurs concessions. Pareille cession partielle ou totale ne pourra

être autorisée qu'après un examen approfondi des circonstances qui la font demander et pas seulement avec l'approbation de l'autorité supérieure. Le refus que ferait l'autorité de satisfaire aux demandes des compagnies à ce sujet, ne pourra être pour celles-ci, ni un motif de faire de nouvelles tentatives de quelque genre qu'elles puissent être, ni leur servir de justification en cas de non-exécution de leurs obligations.

5° Les compagnies sont sous la protection du Ministre de la guerre, et quant à leurs actes en général sous la surveillance immédiate de l'attaman en chef de l'armée du Don, chargé de veiller à l'exécution ponctuelle des contrats. Les compagnies pour leurs affaires locales ayant rapport soit aux contrats, soit à l'administration de l'armée du Don, en référeront également directement à l'attaman en chef.

6° Il sera conclu avec les compagnies des contrats pour une durée de 20 années. Le contrat une fois conclu, la compagnie pourra dans tous les districts des terres de l'armée du Don, et sans aucun payement au profit de l'armée, opérer à ses propres frais des recherches, puis choisir un emplacement où elle supposera rencontrer du charbon de terre, pour y commencer ses travaux d'exploitation.

7° L'exploitation du charbon devra s'effectuer suivant toutes les règles de la science des mines. L'observation ponctuelle de ces règles est imposée aux compagnies, seulement pour l'établissement des puits et galeries de mines, ainsi que pour le renouvellement de l'air dans les mines, afin de ne point compromettre la vie et la santé des travailleurs.

En ce qui concerne les autres exigences de la science, pour briser plus ou moins facilement l'anthracite, la transporter dans les galeries jusqu'aux puits et l'élever à la surface de la terre, ou épuiser l'eau des mines, l'observation en est laissée aux soins des compagnies.

8° Les compagnies feront exécuter les recherches des gisements de charbon, la vérification de ceux qui ont déjà été trouvés, les travaux antérieurs et subséquents, par leurs ingénieurs ou, si elles le désirent, par des ingénieurs de l'administration des mines passés dans l'administration de la guerre. Dans les deux cas, l'attaman en chef devra de temps à autre envoyer des ingénieurs particuliers chargés de veiller à ce que les travaux s'exécutent ponctuellement d'après les règles de la science.

9° Dans le cas où des ingénieurs de l'administration de la guerre seraient employés pour établir les travaux des compagnies, tous les frais de voyage tant sur les routes postales que de traverse et dans les localités où il n'y a point de routes, ainsi que les frais d'entretien de ces officiers, seront au compte de ces compagnies.

10° Les recherches étant terminées, les directions des compagnies présenteront un plan détaillé de l'emplacement choisi par elles, pour y commencer leurs travaux d'exploitation avec la désignation des portions de terrain qu'il leur semble précisément indispensable d'avoir à leur disposition. Les plans devront également indiquer les chemins à établir pour les transports de charbon ainsi que les embarcadères à construire sur les rivières ou sur le rivage de la mer (le tout aux frais des compagnies), pour les dépôts et le chargement du charbon de terre à bord des navires.

11° Ces concessions de terrain pourront être accordées sur les bases suivantes :

I. Il sera accordé à chaque compagnie pour l'exploitation du charbon de terre, une étendue de terrain de une verste quarrée ou 250.000 sagènes quarrées. Cette superficie pourra avoir la longueur, ou la largeur jugée nécessaire d'après la position et l'étendue des gisements de charbon.

II. Les limites de cet emplacement à la surface de la terre, devront également servir de limites à l'extraction du minerai dans le sein de la terre.

III. Le labourage est interdit sur l'emplacement en exploitation.

IV. Si l'emplacement choisi se trouve sur les terres de l'armée, c'est-à-dire sur un terrain riche en gisements de charbon appartenant en propre à l'armée du Don, et resté disponible soit pour y établir de nouveaux campements ou bourgades, soit pour agrandir les anciens, ou sur un terrain cédé viagèrement, ou sur un terrain destiné soit à un haras, soit à un troupeau de chevaux, soit à un campement nomade de Kalmouks, ou enfin sur un terrain cédé à l'administration des forêts ou à celle des postes, l'étendue du terrain désignée au § I, sera mis à la disposition de la compagnie pour en jouir temporairement pendant la durée de son contrat sans aucun payement d'indemnité.

V. Si la compagnie juge nécessaire d'ouvrir les travaux

d'exploitation sur des terres appartenant à des propriétaires ou à la subsistance commune des bourgades, la quantité de terrain fixée par le § I, sera mesurée et remise en toute propriété à l'administration de l'armée qui la concédera à la compagnie sur les bases contenues au précédent paragraphe.

VI. Si l'emplacement choisi par la compagnie pour son exploitation contenait des parties de terrain reconnues riches en charbon, favorables à l'exploitation, et appartenant déjà en propre à l'administration de l'armée du Don, et qu'il empiétât seulement en partie sur des terres appartenant soit aux bourgades, soit à des propriétaires particuliers, cette dernière partie sera arpentée et remise en pleine propriété à l'armée du Don.

VII. Si l'emplacement choisi par la compagnie et appartenant aux bourgades ou à des particuliers, renferme quelques constructions, établissements ou jardins, la compagnie devra indemniser à ses frais, les propriétaires de ces établissements ou constructions qui se trouveront sur les portions de terrain arpentées, pour être remises à l'armée du Don en toute propriété; l'indemnité sera fixée d'un commun accord entre les propriétaires et la compagnie. Toute transaction de cette nature devra être approuvée par l'attaman en chef de l'armée. En cas de dissentiment, la compagnie devra payer aux propriétaires la somme résultant de l'estimation faite dans les formes légales, et disposera des constructions.

VIII. Les compagnies, en choisissant leurs emplacements, pourront tracer les chemins qui conduisent de leurs exploitations aux grandes routes postales et aux rivières, de manière à ce qu'ils soient aussi courts que poss[illegible] en évitant les constructions et les jardins. Si ces chem[illegible]ent [illegible]es terres appartenant à l'armée du Don ou a[illegible] [illegible]rront avoir jusqu'à 50 sagène[illegible]geur[illegible] [illegible]nant à des propriétaires pa[illegible] [illegible]ils [illegible]. Sur les terres appartenan[illegible] [illegible]du[illegible] [illegible]ront sujets à aucune red[illegible] [illegible] aux bourgades ou à de[illegible] [illegible]nies payeront à ces der[illegible] le pied suivant:

Pendant la pre[illegible]

2 roubles;

Pendant la sec[illegible]

4 roubles;

Pendant le 3ᵉ période, 8 roubles ;

Pendant la 4ᵉ période et les suivantes, 16 roubles; par dessiatine et par an.

L'établissement et l'entretien des routes seront aux frais des compagnies, qui pourront établir dans ces conditions, pour le transport du charbon de terre, soit des routes ordinaires de transport, soit des chaussées ou des chemins de fer à chevaux, à leur choix. Si dans le transport du charbon sur ces routes, il était occasionné quelque dommage aux prairies ou aux pâturages, les compagnies seront tenues d'indemniser les propriétaires, d'un commun accord avec ces derniers, et en cas de difficulté, d'après l'estimation légale du dommage.

IX. Pour pouvoir charger l'anthracite sur les navires, soit sur les rivières qui arrosent les terres de l'armée du Don, soit dans la mer d'Azoff, il sera mis à la disposition des compagnies sur le bord de ces rivières ou sur le rivage de la mer d'Azoff, des emplacements pour les dépôts d'anthracite, pouvant contenir jusqu'à 10 millions de pouds de ce charbon. Il ne sera rien payé pour ces emplacements pourvu qu'ils aient été choisis en dehors des embarcadères de commerce ou des bourgades, sur les terres communes de l'armée du Don. En cas contraire, le loyer de ces lieux de chargement sera débattu d'un commun accord, entre les fondateurs des compagnies et les bourgades ou les propriétaires, et sera soumis à l'approbation de l'attaman en chef de l'armée, pour toute la durée des contrats des compagnies.

X. Les chemins et les embarcadères pourront être changés pendant la durée du contrat, si le besoin s'en faisait sentir, mais du consentement de l'autorité locale.

Tous les emplacements que les compagnies auront jugés nécessaires tant pour des établissements ayant rapport à leur exploitation, que pour des chemins ou des embarcadères, devront être exactement figurés sur le plan auquel seront annexées les conditions définitives suivant lesquelles ces terrains sont concédés pour l'usage temporaire des compagnies.

12° Dès que l'autorité supérieure aura approuvé ce plan et les conditions y annexées, les compagnies seront tenues de commencer les travaux préliminaires pour l'établissement de l'exploitation régulière du charbon de terre, sur une vaste échelle, de telle sorte qu'à l'expiration du terme fixé pour ces travaux préliminaires, chaque compagnie puisse extraire de

ses mines jusqu'à 3 millions de pouds de charbon, par an.

Le terme fixé pour les travaux préliminaires, y compris la recherche des gisements de charbon et le choix de l'emplacement le plus favorable à l'exploitation, est de quatre années à partir de la conclusion du contrat.

N. B. Le chiffre d'une exploitation de 3 millions de pouds par an n'est point obligatoire pour les compagnies; il doit seulement leur servir de mesure quant aux moyens à employer pour une exploitation sur une grande échelle.

13° Comme garantie que dans ce délai de quatre années l'exploitation du charbon dans les terres de l'armée du Don sera installée sur une grande échelle, et d'après toutes les règles de la science des mines, chaque compagnie, au moment où sera conclu son contrat, devra verser un cautionnement de 30,000 roubles argent.

14° Si à l'expiration de ce terme, quelque compagnie n'a point établi une exploitation régulière du charbon de terre sur l'emplacement qui lui a été concédé, comme il est dit au § 12, elle perdra tous les droits qui lui étaient dévolus par son contrat, et son cautionnement de 30,000 roubles deviendra la propriété de l'armée du Don.

15° A l'expiration des quatre années fixées pour les travaux préliminaires, la compagnie acquiert le droit d'exploiter le charbon des terres de l'armée du Don, sur l'emplacement choisi par elle, pendant l'espace de seize années.

6° Les compagnies composées de personnes appartenant par leur origine à l'armée du Don, ainsi que celles qui seront formées de personnes d'autres conditions, pourront vendre le charbon, non-seulement sur le lieu d'exploitation, mais encore en dehors des possessions de l'armée du Don, où bon leur semblera, en se conformant toutefois aux règlements du commerce.

17° Comme droit d'exploitation les compagnies payeront au profit de l'administration de l'armée du Don, un demi-copeck en argent par poud de charbon enlevé du lieu d'exploitation, soit pour la vente, soit pour d'autres usages.

18° Si avant l'expiration des quatre années affectées aux travaux préliminaires, les compagnies mettent en vente du charbon provenant de leur exploitation, elles sont tenues également de payer le demi-copeck par poud livré à la vente.

19° Jusqu'à l'expiration des quatre années de travaux pré-

liminaires, le cautionnement de 30.000 roubles dont il est question au § 13, sert de garantie à l'autorité, ainsi qu'il a été dit, pour le complet établissement par les compagnies d'une exploitation de charbon de terre dans les proportions convenables. Dès que l'exploitation sera en activité, ou au commencement des seize années restantes du contrat, ce cautionnement sera affecté à la garantie du payement régulier de l'impôt.

20° A l'expiration de chaque période de quatre mois, chaque compagnie devra verser à la caisse de l'armée du Don une somme de 5.000 roubles argent; à la fin de l'année on établira le compte général du charbon sorti des mines, et si de ce compte il appert qu'il en est sorti plus de 3 millions de pouds, la direction de la compagnie devra verser immédiatement à la caisse de l'armée du Don, la somme complémentaire à raison d'un demi-copeck argent par poud. S'il a été enlevé du lieu d'exploitation, moins de 3 millions de pouds de charbon, les sommes payées comme excédant, seront reportées à valoir sur les payements à faire pour l'année suivante. Les Directeurs des compagnies devront présenter à l'administration de l'armée du Don le compte annuel de la quantité d'impôt ainsi payée par elles, et y joindre des extraits des livres de commerce, certifiés par l'ingénieur et l'employé de la police, qui indiqueront nommément les quantités de charbon expédiées et les lieux de leur destination.

21° Les compagnies devront tenir exactement et en bon ordre, des livres où seront inscrites les quantités de charbon exploitées et les quantités expédiées; elles seront tenues en tout temps de les présenter sur la réquisition des personnes chargées des pouvoirs de l'attaman en chef de l'armée.

22° Indépendamment du cautionnement mentionné plus haut, toutes les constructions, machines, instruments, etc., qui se trouveront dans les mines exploitées par les compagnies serviront également comme garantie d'une exacte observation des engagements pris par ces compagnies, et du payement en temps utile de l'impôt à percevoir sur le charbon exploité et extrait des mines.

23° A l'expiration de la seconde période, soit celle de seize années, les constructions, les machines et en général tous les objets spécialement destinés à l'exploitation du charbon de terre, qui se trouvent dans les mines exploitées par les

compagnies et y étaient employées dans les trois dernières années écoulées, appartiendront en toute propriété à l'armée du Don, sans qu'il y ait à réclamer de celle-ci aucun payement d'indemnité. L'attaman en chef fera dresser en temps utile un inventaire détaillé de tous les objets qui, à l'expiration du terme de l'existence de la compagnie, devront devenir la propriété de l'armée du Don, de telle sorte que dans l'état où ils se trouveront, ou avec quelques réparations peu importantes, ils puissent servir à continuer sans interruption, les travaux dans les mines. Du reste, il sera loisible aux compagnies, deux ou trois ans avant l'expiration de la seconde période, celle de seize années, de solliciter une prolongation d'exploitation pour un nouveau terme de vingt années ou plus, ainsi que la concession d'une partie de terrain complémentaire, si cela leur paraît nécessaire. Cette demande sera soumise à l'examen de l'autorité, et si une prolongation d'existence est accordée à la compagnie, dans ce cas, les constructions, les machines et objets nécessaires à l'exploitation demeureront en sa possession.

24° Si avant l'expiration de la seconde période, de seize années, les compagnies manifestent d'elles-mêmes l'intention de cesser leur exploitation, le cautionnement de 30.000 roubles, ainsi que tous les établissements, machines et en général tous les objets servant spécialement à l'exploitation du charbon par ces compagnies, deviendront la propriété de l'armée du Don, sans qu'il y ait à réclamer de celle-ci aucun payement à titre d'indemnité.

25° Si à l'expiration du terme d'exploitation d'une compagnie, il reste dans les puits ou dans les embarcadères appartenant à cette compagnie, du charbon qui n'ait pas été vendu, elle aura le droit de le céder à d'autres compagnies, ou de l'enlever elle-même des puits et embarcadères, en payant l'impôt établi tant sur le charbon que pour le terrain où passent ces chemins. Un délai d'une ou deux années, à partir du jour de l'expiration du contrat d'exploitation, sera laissé à la compagnie pour céder ou enlever elle-même son charbon, pourvu toutefois que ce charbon provenant d'anciennes exploitations ne gêne point l'action des autres compagnies.

Règles à suivre pour l'exploitation du charbon de terre par les habitants des terres de l'armée du Don.

1° Des emplacements seront choisis par l'administration de l'armée du Don, dans divers cantons des possessions de l'armée pour l'exploitation du charbon de terre par les habitants.

2° Chacun de ces emplacements devra être d'une verste quarrée en superficie.

3° Les travaux d'exploitation existant actuellement à Grouchevsk seront continués sur le même pied ; mais si l'on reconnaît possible de délivrer encore en cet endroit de nouvelles concessions pour l'exploitation du charbon, elles seront faites conformément aux présentes règles.

4° Les emplacements ci-dessus mentionnés seront divisés en 10 ou un moins grand nombre de plates-formes quarrées, et ces dernières seront subdivisées en portion de 2.500 à 5.000 sagènes quarrées. L'arpentage exact de ces parcelles sera effectué après examen de l'autorité et suivant les facilités qu'offrira l'emplacement.

5° Ces portions de terrain seront délivrées à des personnes recommandables appartenant par leur origine à l'armée du Don, mais seulement à raison d'une portion par personne et à la condition que cette portion ne pourra être ni vendue, ni engagée, ni cédée à autrui sous quelque forme que ce soit, sous peine pour celui à qui elle avait été concédée, de la voir retourner en toute propriété à l'administration de l'armée du Don, ou concédée de nouveau à une autre personne recommandable.

Cette règle n'est pas applicable aux héritiers légitimes qui conserveront leurs droits à l'exploitation de ces portions de terrain, sur les bases générales.

6° Les personnes qui désireront obtenir des portions de terrain, pour y exploiter le charbon de terre, devront présenter leurs demandes à l'administration de l'armée du Don, dans le délai d'une année, à partir du jour de la confirmation des présentes règles par l'Empereur et de leur publication dans l'étendue des possessions de l'armée du Dón. La délivrance des lots de terrain aura lieu aussitôt que l'autorité supérieure aura approuvé les concessions et l'arpentage des emplacements destinés aux travaux d'exploitation.

7° Le terme de l'exploitation du charbon dans les portions de terrain désignées est fixé à vingt années, à compter du 1/13 janvier 1857 jusqu'au 1/13 janvier 1877.

8° Dans le cours de ces vingt années, des portions de terrain pourront encore être concédées à ceux qui en feront la demande, mais pas autrement qu'avec la condition que le terme final de leur exploitation sera fixé au 1/13 janvier 1877.

9° Sur les plates-formes divisées en parts de 2.500 à 5.000 sagènes quarrées, il sera permis aux concessionnaires d'opérer leurs travaux en commun sur deux, trois ou un plus grand nombre de parts, et même dans toute l'étendue de la plate-forme, mais en se conformant strictement aux bases établies dans l'article 5. Il sera loisible à ces concessionnaires de former une compagnie en se conformant aux règles portées dans les articles 1824 — 1895, du tome X des lois.

10° Les concessionnaires de ces portions de terrain auront le droit d'entreprendre l'exploitation du charbon soit isolément, soit en commun, pendant l'espace de quatre années à partir du jour où leur portion leur aura été concédée. Les conventions qu'ils pourraient faire pour l'établissement de travaux en commun, devront être soumises en temps utile à l'administration de l'armée du Don par tous les concessionnaires qui les auront adoptées; elles devront être approuvées par cette autorité, sans la permission de laquelle il ne pourra y être fait aucun changement. En cas contraire l'autorité prendra en main l'administration de ces parts de terrain, et les dépenses qu'entraînera ce fait, seront au compte des concessionnaires. Si le cessionnaire d'une part de terrain, n'a point commencé, soit des travaux isolés, soit des travaux en commun pour l'exploitation de l'anthracite, dans le délai de quatre années, sa part retournera en toute propriété à l'armée du Don et pourra être concédée à une autre personne recommandable.

11° Si une part de terrain se trouve entourée d'autres parts sur lesquelles s'exécutent des travaux en commun, ou si elle leur est contiguë et que le concessionnaire de cette part ne désire pas s'associer aux travaux en commun entrepris par les autres concessionnaires, elle pourra être reprise par l'administration de l'armée et jointe à celles exploitées déjà en commun par les concessionnaires réunis; mais la quotité des dépenses à supporter par le particulier qui en était concessionnaire, sera payée sur la caisse de l'armée et il aura le droit de

participer aux bénéfices provenant des travaux entrepris en commun par les concessionnaires associés.

12° Tous les travaux entrepris soit isolément, soit en commun, devront être exécutés conformément aux règles de la science des mines. Ces règles sont obligatoires pour les exploiteurs, seulement en ce qui a rapport à la construction des puits et galeries de mines, le renouvellement de l'air et la nécessité d'épuiser l'eau des mines, afin de n'exposer ni la vie ni la santé des travailleurs. Quant aux autres exigences de la science concernant le plus ou moins de facilité à abattre l'anthracite, son transport dans les mines du lieu d'extraction jusqu'aux puits, les moyens de l'élever à la surface et les moyens d'épuiser l'eau des mines, elles sont laissées aux soins des exploitants. Des ingénieurs transférés de l'administration des mines dans celle de la guerre, seront chargés sous leur responsabilité, de veiller à l'exécution ponctuelle de ce qui précède et de diriger les travaux d'exploitation ; ils devront tenir l'administration de l'armée du Don au courant de la marche des travaux, et si quelque concessionnaire, au mépris de l'indication des ingénieurs, entreprend des travaux irréguliers, sa part de terrain retournera en toute propriété à l'armée du Don ou sera concédée à une autre personne désignée par l'administration de l'armée. Pour éviter qu'il ne soit entrepris isolément ou en commun des travaux mal entendus, des règles positives et détaillées seront rédigées ; et aussitôt après leur approbation par le ministre de la guerre, elles seront imprimées pour être distribuées aux exploitants, afin qu'ils aient un aperçu exact des dépenses à faire, des indications pour leurs travaux, et qu'ils ne puissent arguer de leur ignorance, nommément en ce qui concerne la régularité des travaux d'exploitation.

13° Comme droit d'exploitation du charbon dans les terres de l'armée du Don, il sera perçu au profit de l'armée, un demi-copeck argent par chaque poud de charbon ou d'anthracite, extrait et enlevé du lieu d'exploitation.

N. B. Cet impôt de un demi copeck par poud sera également perçusur le charbon des exploitations actuellement existantes à Grouchevsk : mais cette mesure ne sera mise en activité que lorsque sera perçu l'impôt sur le charbon provenant des terrains nouvellement concédés.

(*Traduit par M.* DE VALLAT, *consul de France à Saint-Pétersbourg.*)

Sur les mines du canton de Caratal (République de Venezuela).

Ayant reçu mission d'explorer les terrains du canton de Caratal, à 6 milles de Tupuquen, où les mineurs de l'Yuruari ont rencontré un nouveau placer, je dois commencer par signaler avant tout l'exagération et l'imprudence des bruits répandus à ce sujet depuis mon départ, lesquels pourraient avoir les conséquences les plus funestes. Mon but est d'éviter les grands malheurs qui résulteraient de l'arrivée d'une masse de travailleurs sur le placer de Caratal.

Une exploration de quatre jours, en compagnie d'un mineur expérimenté et intelligent, a suffi (en l'absence de recherches directes, que le manque d'eau dans les forêts vierges rendait impossibles), pour apprécier à sa juste valeur l'avenir du nouveau placer, et m'imposer le devoir de revenir aussitôt éclairer le gouvernement à ce sujet.

Le placer de Caratal est une continuation de la formation aurifère découverte dans le Yuruari en 1849. La partie productive, formant un petit ravin dépendant de la Mucupia, n'a que 150 varas de long sur 100 de large, et jusqu'à présent les essais des ravins voisins n'ont pas donné d'espérances. On ne doit pas exagérer, par conséquent, la valeur du gîte découvert. Que feraient donc les travailleurs dans ces forêts, en plein hiver?

On a fait entendre au public que la moindre journée d'un mineur serait de 2 onces et pourrait s'élever à 4; c'est une grave erreur. Nous avons constaté que les journées de lavage ne produisent que 4 réaux, et le nombre des travailleurs s'élève à 80.

Je dirai, en outre, qu'il y a pour les fouilles des difficultés telles que, dans certains endroits, des mineurs exercés ont été forcés d'abandonner, en désespoir de cause, leurs travaux; que, généralement, la terre est dure et parfois cimentée d'un ciment ferrugineux presque impénétrable; que, à la profondeur d'une vara, on rencontre des morceaux de quartz de dimensions variées, mais qu'il est indispensable d'enlever, soit entiers, soit par fragments, pour arriver à l'argile qui renferme le précieux métal; que de ces opérations résultent des blessures et contusions qui deviennent des ulcères rebelles et incurables.

J'ajouterai qu'après avoir extrait à grand'peine cette glaise aurifère, il faut la transporter à une demi-lieue de distance, quelquefois même jusqu'au Yuruari, à 5 milles de là, lors des sécheresses du ruisseau voisin; puis on la lave, le tout parfois sans résultat.

L'eau, dans tout le district, est trouble et insalubre à boire; dans les montagnes, on ne connait pas les bienfaits des rayons de soleil, qui ne peut traverser l'ombre des futaies; en conséquence, après quelques jours d'habitation, les mineurs perdent leur teint naturel pour prendre un aspect pâle et blafard, signe d'une prédisposition à toutes les maladies qui pourraient éclater.

Je dirai enfin que l'hiver, avec ses pluies incessantes, au lieu de diminuer les difficultés du travail, les accroitra au point de rendre l'exploitation impossible dans l'état actuel des lieux, et triplera les chances de maladie.

Il importe de faire connaître ces circonstances, on échappera ainsi aux mécomptes que feront naitre les illusions fomentées par la soif de l'or.

Parmi ceux qui connaissent les montagnes du Caratal, nul ne soutiendrait qu'une réunion d'hommes puisse s'établir dans ces forêts au milieu de l'hiver, et se livrer à des travaux pénibles cités sans le plus grand danger, non-seulement pour la santé, mais pour la vie?

S'il a plu, les rayons du soleil n'arrivent pas au sol, le vent lui-même ne saurait balayer les miasmes qui se dégagent sans cesse; la chaleur change ces fourrés en une vaste étuve.

Combien de causes de maladie. Ajoutez les moustiques, les blessures ulcérées, les chaleurs... n'en est-ce pas assez pour atteindre des tempéraments minés par des aliments insalubres, des eaux saumâtres, et abattus déjà par les fatigues de l'extraction et du lavage?

L'exploitation de ces mines serait-elle donc impossible? non pas, elle est possible pendant l'été, et même elle le deviendra pendant la mauvaise saison, lorsque des mesures auront été adoptées pour détruire les causes morbides.

Ces mesures sont: de défricher les montagnes, de donner aux travailleurs des habitations ventilées et saines, de leur fournir de l'eau douce à boire au lieu de l'eau saumâtre dont ils se servent, puis d'autres mesures hygiéniques à prescrire d'après l'examen des lieux.

Il y a beaucoup d'or au Caratal, a-t-on dit, c'est une nouvelle Californie.....

Je réponds : une Californie qui tiendrait dans les murs de la cathédrale de Bogota. N'est-ce pas un malheur de voir ces pauvres mines de l'Yuruari périr comme Icare, pour avoir reçu une impulsion que leurs ailes ne peuvent pas soutenir? Mon cœur se trouble, vraiment, quand je pense aux désastres que peuvent entraîner ces mouvements désordonnés de population; que de victimes, comme en 1851, ont à payer un instant d'erreur!

J'ai intérêt à ces choses, j'en conviens; ces mines, je les ai découvertes, je veux les protéger contre l'exagération et les flatteries. Pendant huit années, j'ai prêché en leur faveur, et je n'ai pas cessé de prédire qu'elles donneront un jour de beaux résultats, mais ce jour n'est pas encore arrivé. Aujourd'hui même, en même temps que je remets à sa valeur le placer du Caratal, et que je conteste l'exactitude comme l'opportunité des articles publiés à ce sujet, je conserve mon opinion sur ces mines et sur leur avenir, et je répète que mes dernières explorations m'ont confirmé dans mes vues.

La formation aurifère, qui, à peu d'exceptions près, est due à des bouleversements locaux, se relie sans doute à celle de la Nouvelle-Grenade et à celle de la Guyane française.

Je terminerai en rappelant néanmoins les richesses de cette province de la Guyane que j'ai parcourue, et il n'y aura plus lieu de tenir compte de l'or seulement, car il existe des mines d'argent, de cuivre, de mercure, d'étain, de fer, de plomb, et des alluvions diamantifères. En outre, la richesse agricole est grande et l'intérieur de la Guyane n'est pas insalubre.

(*Extrait du rapport adressé au secrétaire d'État de l'intérieur de la république de Venezuela, par le docteur* PLASSARD.)

Renseignements postérieurs sur le même sujet.

Les terrains aurifères de Caratal, dont la richesse est aujourd'hui incontestable, ont été en partie abandonnés pendant la saison des pluies (il n'y reste qu'une centaine d'individus, dont

cinq ou six Français), mais les beaux échantillons qu'ils ont donnés ranimeront la confiance ébranlée et attireront un assez grand nombre de travailleurs, lorsque la sécheresse aura assaini le pays. On a reçu à Ciudad-Bolivar des morceaux de 42, de 20 et de 16 onces; ceux de 3 à 6 onces ne sont pas rares. Ces nouvelles, et surtout celle du départ de Demerari de deux expéditions anglaises, ont décidé le gouvernement de Caracas à envoyer sur les lieux un ingénieur et quelques élèves de l'école militaire; mais jusqu'à ce jour, cette partie de la province a été abandonnée à elle-même. Les terrains ne sont ni affermés, ni vendus; chacun peut les exploiter sans entraves comme sans garanties. Le mode d'exploitation est encore réduit au travail manuel; il n'y a pas de machines; le pic, la pioche, la pelle et une sébille sont les seuls instruments employés; mais les mineurs s'associent souvent au nombre de 5 ou 6 pour creuser un trou de 20 pieds quarrés qu'ils exploitent en commun. L'alimentation consiste en bétail qui est abondant, en bananes, en riz, en cassave et en quelques vins et liqueurs que l'on reçoit de Ciudad-Bolivar. Si le nombre des mineurs devenait considérable, il faudrait nécessairement améliorer les communications entre Caratal et Ciudad-Bolivar qui, aujourd'hui sont assez difficiles et coûteuses. Deux voies conduisent de la capitale de la province aux mines: la première traverse les terres, et se trouve coupée, près de Guri, par la rivière *Caroni*, que l'on ne peut traverser qu'au moyen de *bongos* ou *curiacas* (grands canots) dans lesquels il est difficile d'embarquer des animaux. La seconde est celle du fleuve que l'on descend jusqu'à *Puerto de tablas* (environ trente lieues entre Ciudad-Bolivar et l'embouchure de l'Orénoque). De ce point, on se dirige sur Caratal par terre, en traversant un pays ondulé qui offre un terrain ferme et sur lequel on pourrait facilement établir de bonnes routes. Il y aurait quelques ponts à jeter sur des torrents que leur peu de largeur rend faciles à franchir.

A la date du 29 septembre, de Ciudad-Bolivar, les nouvelles des mines étaient bonnes; les fièvres attaquaient les travailleurs, mais les résultats obtenus les faisaient persister dans leurs recherches.

Tel est le résumé des renseignements que me donne notre agent à Ciudad-Bolivar, et de ceux que j'ai pu obtenir ici même. On peut en déduire, que les terrains de Caratal sont riches, et

qu'ils peuvent être utilement exploités par des compagnies qui auraient des fonds suffisants pour améliorer le mode d'exploitation et les moyens de transport. Quant à la propriété de ces terrains, elle pourra être l'objet d'une contestation entre les gouvernements de la Grande-Bretagne et de Vénézuela. La démarcation des limites qui séparent la Guyane anglaise de la province Vénézuélienne du même nom n'a pas encore été fixée d'un commun accord, et il est à craindre que cette opération ne rencontre aujourd'hui de sérieuses difficultés. Le gouvernement de Caracas paraît, d'ailleurs, disposé à agir avec une grande prudence vis-à-vis de ses puissants voisins.

(*Extrait d'une dépêche adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par M.* Léonce Levraud, *consul général de France au Vénézuela, le* 15 *novembre* 1857).

Note sur des expériences relatives aux moyens d'absorber la fumée de la houille.

Il y a quelque temps déjà, la société des propriétaires de mines de houille, offrit à Newcastle une prime de 500 liv. st. à celui qui trouverait la meilleure méthode d'absorber la fumée, pendant la combustion du charbon.

Deux ingénieurs civils, MM. Longridge et Amstrong, ainsi que le docteur Richardson, chimiste, furent désignés par la société pour commencer une suite d'expériences à l'effet d'élucider le problème. Or, dans le cours de leurs nombreuses expériences, à l'une desquells ils ont bien voulu m'appeler, les trois savants ont été amenés à constater que le charbon de Hartley peut être consumé dans la chaudière multitubulaire, ordinairement employée par la marine, sans produire la moindre fumée, et que ce charbon qui, dans les rapports de l'amirauté, est représenté comme vaporisant environ 7 livres 1/2 d'eau pour une livre de combustible, est capable, au contraire, d'en vaporiser 12 livres 1/4.

Cette différence est énorme, et s'il devient manifeste, comme j'ai tout lieu de le croire, que l'erreur est du côté de MM. Playfair et Henri de la Bèche, auteurs des rapports officiels qui seuls, jusqu'ici, ont servi de base à l'amirauté pour fixer ses choix dans l'approvisionnement de ses navires à vapeur, il est

certain que les charbons de Newcastle ne tarderont pas à être choisis par le gouvernement de préférence à ceux du pays de Galles.

Cette question sera probablement, avant peu, soumise à la décision du parlement.

(*Extrait d'une dépêche adressée à S. Exc. le ministre des affaires étrangères par M. le comte de* Maricourt, *consul de France à Newcastle.*)

Mines de fer des États-Unis (1).

Les *Annales des Mines* ont déjà publié divers documents sur les mines de fer et sur la fabrication du fer aux États-Unis; on peut consulter notamment les rapports de Sir Charles Lyell de J. Hall et de M. le professeur John Wilson (*Annales des mines*, 5e série, t. VI, p. 1, et t. VIII, p. 616). Mais cet important sujet est loin d'être épuisé, et nous allons donner ici un extrait d'un ouvrage très-intéressant de M. Whitney (*Metallic Wealth of the United States*, p. 457).

Pour que l'on puisse comprendre facilement les relations de gisement des différents minerais, il sera bon de jeter les yeux sur la carte géologique des États-Unis, qui a été publiée par M. J. Marcou (*Annales des mines*, 5e série, t. VII, Pl. IX).

Le développement que prend la fabrication du fer dans un pays dépend d'une foule de circonstances très-complexes. Il ne suffit pas, en effet, qu'on trouve en abondance du minerai de fer de bonne qualité; il faut encore qu'on puisse se procurer du combustible et des fondants; il faut aussi que les communications soient faciles et la main-d'œuvre suffisamment économique. Les tarifs adoptés et les droits protecteurs ont

---

(1) Afin de faciliter au lecteur l'intelligence des données statistiques que renferme cet extrait, nous mettons sous ses yeux, d'après l'*Annuaire des longitudes*, la valeur des monnaies, des poids et des mesures qui sont employés aux États-Unis.

Le dollar, qu'on désigne par $, vaut	=	5f,15
Un centième de dollar s'appelle cent.		
Le pied anglais.	=	0m,3048
Le yard	=	0m,9144
Le mille	=	1.609m
Le boisseau (*Bushel*).	=	36lit,348
La livre troy impériale.	=	373gr,226
La livre (avoirdupoids)	=	453gr,57
La tonne	=	1.016 kilogrammes.

surtout une très-grande influence. Il résulte de là que la fabrication du fer doit plutôt être étudiée au point de vue de l'économie politique qu'au point de vue de la géologie.

Constatons d'abord que les États-Unis possèdent des gisements de minerais de fer qui sont extrêmement nombreux. Ces minerais se trouvent en outre dans des conditions d'exploitation beaucoup plus favorables que ceux de tout autre pays.

Nous ne nous occuperons pas de la discussion des circonstances très-diverses qui pourront, par la suite, activer cette exploitation; mais afin de donner une idée de l'immense richesse des Etats-Unis en minerais de fer, nous allons successivement passer en revue les gisements ainsi que les mines principales de chaque État. — Nous terminerons d'ailleurs par un tableau statistique général.

Maine.

Maine. — Les minerais de fer de l'État du Maine consistent en filons ou en amas qui sont disséminés dans le terrain paléozoïque métamorphique; cependant, il y en a aussi qui s'exploitent à la surface, notamment dans les marais.

Le gisement le plus considérable qu'on connaisse jusqu'à présent, se trouve sur l'Aroostook, à 50 milles au-dessus de son embouchure. Le minerai est enclavé dans des schistes calcaires qui sont fortement métamorphosés. Son épaisseur est de 36 pieds. Il consiste en hématite rouge contenant beaucoup de manganèse. On rencontre bien d'autres gisements semblables dans le voisinage, mais ils sont trop éloignés des voies de communication pour avoir quelque valeur dans les circonstances actuelles.

Un gisement de minerai de fer se trouve encore à New-Brunswick, près de Woodstock, et non loin de la frontière du Maine. Il est situé près de la rivière Saint-John, et par suite, il peut acquérir plus d'importance que celui d'Aroostoock. On construisait en 1848, un haut-fourneau destiné à traiter ce minerai, dont la tonne revient à peu près à 40 cents. Le charbon de bois abonde d'ailleurs aux environs.

On rencontre le long de la côte de nombreux filons de minerai de fer oxydulé magnétique; mais aucun d'eux n'est assez considérable pour être exploité avec profit.

Il y a aussi dans l'intérieur de l'État du Maine des localités qui possèdent du minerai de fer et en particulier du minerai des marais. On a construit un petit fourneau à Shapleigh, et un autre sur le Piscataqua, à 50 milles en arrière de Bangor; tous

deux sont éteints depuis quelque temps. Le minerai du Piscataqua est un hydroxyde contenant beaucoup de pyrite; il couvre la surface d'un monticule aride et il a pris la forme de divers fossiles, de branches ou de feuilles d'arbres dont il a remplacé la matière organique.

L'État du Maine n'avait pas en 1854 un seul haut fourneau actif et les statistiques de 1850 n'en mentionnent qu'un seul.

New-Hampshire. — Les minerais de fer sont plus abondants dans le New-Hampshire que dans le Maine; mais le manque de voies de communication entrave également leur exploitation. Le haut fourneau de Franconia est le seul qu'on y ait bâti. Le minerai qu'on y traite est du fer oxydulé magnétique. Il forme un filon large de 3 à 4 pieds, qui s'étend dans la direction Nord 30° Est, et qui s'enfonce presque verticalement. Son exploitation a été commencée sans aucune règle, et continuée en tranchée ouverte jusqu'à une profondeur de 150 pieds. Le meilleur minerai qu'il fournisse consiste en oxyde magnétique pur, contenant 2 à 3 p. 100 de silice, ainsi que de faibles quantités d'acide titanique. New-Hampshire.

Le haut fourneau a été construit en 1811. Il produit depuis quelques années 2 1/2 tonnes de fer par jour, et il consomme 100 boisseaux de charbon par tonne de métal.

On trouve à Piermont, près de Haverhill, un gisement très-étendu de minerai de fer spéculaire. Ce minerai forme des couches épaisses, et il est associé à du quartz dans des proportions extrêmement variables. Il contient 50 à 60 pour 100 de fer métallique et il est très-abondant. Indépendamment du quartz, il renferme encore de petites quantités d'acide titanique. La nature et la position de ce gisement en font l'un des plus importants du New-Hampshire.

La ville de Bartlett, dans les montagnes Baldface, possède des filons considérables de minerai de fer magnétique qui est d'une bonne qualité; mais l'élévation et l'éloignement de ces filons rendent leur exploitation impossible dans les circonstances actuelles.

Le minerai de fer des marais abonde dans le New-Hampshire; toutefois, son exploitation ne sera profitable que si elle est entreprise sur une échelle très-petite et pour des usines très-peu éloignées.

Vermont. — L'état de Vermont possédait en 1849 dix hauts fourneaux, fabriquant 8.000 tonnes de fonte par an; maintenant leur production ne dépasse pas 4.000 tonnes. Vermont.

Cependant, les gisements de minerai sont très-nombreux, et plusieurs d'entre eux peuvent même donner du fer de très-bonne qualité.

Les minerais des marais, quoique abondamment disséminés dans tout l'Etat, sont loin d'avoir autant d'importance que les minerais provenant des couches tertiaires situées vers l'ouest à la base des montagnes Vertes. Les dépôts les plus considérables se trouvent à Brandon et à Chittenden. Ils consistent en couches irrégulières d'une hématite brune ayant une couleur jaune d'ocre. Cette hématite est associée à de l'oxyde de manganèse et à diverses variétés d'argiles colorées. Ses couches sont séparées par des lits de gravier. A Brandon, il y a même un dépôt considérable de lignite contenant des fruits fossiles.

Massachussets. *Massachussets.* — Le minerai de fer des marais est le premier qu'on ait exploité dans le Massachussets. Dès l'année 1702 un premier haut fourneau avait été construit à Pembroke dans le comté de Plymouth. Au commencement de ce siècle, on y comptait déjà dix-huit hauts fourneaux qui étaient alimentés avec le minerai des marais, mais tous ont été éteints à cause du manque de minerai et de combustible. Ces hauts fourneaux produisaient annuellement 1.500 tonnes de fer. Pendant la guerre de la révolution, il y avait d'ailleurs une fonderie de canons à Bridgewater.

Les minerais qui sont en filons dans les roches métamorphiques de la partie occidentale du Massachussets paraissent avoir peu d'importance à cause des frais d'exploitation qui sont occasionnés par la dureté de la roche. Celle des mines qu'on connaît le mieux est à Hawley, dans le comté de Franklin. Elle se compose de deux couches enclavées dans du micaschiste, et distantes de 10 pieds; l'une de ces couches est formée de fer oxydulé magnétique, tandis que l'autre consiste en fer spéculaire micacé. Leur épaisseur ne dépasse pas 2 1/2 pieds, et leur étendue est trop peu considérable pour qu'il soit possible de les exploiter actuellement avec profit.

Les seuls minerais qui aient quelque importance proviennent des terrains tertiaires à l'ouest du Massachusetts. Ils sont exploités sur une vaste échelle. Le travail des hauts fourneaux qu'ils alimentent a été étudié avec beaucoup de soin par M. Hodge (1). Le minerai consiste principalement en hématite brune, conte-

(1) J.-T. Hodge, *Am. R. R. Journal*, n° 684.

nant beaucoup d'oxyde de manganèse et de petites quantités d'acide phosphorique ainsi que de silicates terreux. Le zinc s'y rencontre souvent, car l'on retrouve son oxyde à l'état de cadmie sur les parois des hauts fourneaux. L'oxyde noir de manganèse accompagne quelquefois le minerai, mais il est tellement mélangé aux matières siliceuses, que son exploitation n'est pas possible commercialement. Du calcaire magnésien se remarque ordinairement dans le voisinage; c'est une dolomie presque pure, contenant seulement de petites quantités de silice; elle donne le fondant le plus convenable.

Il existe aussi près de ces minerais des roches quartzeuses et de l'argile réfractaire.

On fait exclusivement usage du charbon de bois dans les hauts fourneaux; le boisseau rendu à l'usine coûte 5 à 7 1/2 cents. Le bois est carbonisé dans de grands fours construits en briques, dont chacun produit près de 3.000 boisseaux par charge.

En 1849, il y avait sept hauts fourneaux dans le Berkshire; ils travaillaient tous à l'air chaud, et employaient l'eau comme force motrice.

Le fourneau de North-Adams est alimenté par le minerai siliceux de Kingsley et par celui de la mine Antony, à South-Adams.

Le fourneau de Lanesboro est alimenté par les minerais provenant de Shermann et de Newton, qui consistent en hématite brune d'excellente qualité. Les minerais de Shermann sont superposés à du calcaire en couches épaisses; ils alternent avec des argiles et des ocres. Les minerais de Newton ont, d'après M. Hodge, une position presque verticale, et se trouvent enclavés dans des schistes micacés et talqueux.

Les hauts fourneaux de Richmont et de Lenox sont alimentés par le minerai de West-Stockbridge, qui s'emploie également dans les hauts fourneaux de la Compagnie de Stockbridge. Ce minerai forme des couches sur le versant sud-est des montagnes calcaires qui sont si communes dans le pays. La mine, qui n'a pas moins d'un tiers de mille, se compose de deux parties nommées Leet-bed et Chauncey-Leet-bed. Dans la première, les couches de minerai de fer alternent avec des ocres et des argiles. La couche principale a dix pieds d'épaisseur. Le minerai est d'excellente qualité; il a une couleur chocolat foncé, passant au noir; il contient des quantités variables de manganèse et seulement des traces d'acide phospho-

rique. Le minerai de Chauncey-Leet-bed a été exploité en très-grande quantité; on ne connaît pas toute son étendue, mais on sait qu'elle est très-considérable.

Les mines de West-Stockbridge alimentent encore le haut fourneau Vandeusenville qui est situé à Great-Barington.

Tous ces hauts fourneaux produisent annuellement 12,000 tonnes de fer.

Connecticut. *Connecticut.* — Le Connecticut compte quelques localités dans lesquelles on a trouvé du fer oxydulé magnétique formant des filons dans les roches métamorphiques. Ces filons ont à peine été exploités.

Il en est de même du grand filon de fer spathique de Rixburg. D'après le professeur Shepard, il est large de 6 à 8 pieds, et il contient du carbonate de fer pur, mélangé à du quartz blanc. Il se trouve dans une localité qui est très-favorablement située sous tous les rapports, et le minerai y est abondant.

Les seuls gisements vraiment importants du Connecticut sont situés dans la partie Nord-Ouest de cet État. Ils sont répartis près du district du Massachusetts que nous venons de décrire, et ils présentent d'ailleurs les mêmes caractères géologiques.

Les hauts fourneaux se trouvent dans les villes de Salisbury, Canaan, Cornwall, Sharon, Kent, et les usines qui en dépendent sont dans le comté de Dutchess et de New-York.

Pour l'année 1849, M. Hodge porte à seize le nombre des hauts fourneaux du comté de Lichtfield, qui emploient de l'hématite. Leur production annuelle s'élève à environ 12,000 tonnes. Tous sont alimentés par la mine Ore-Hill, à Salisbury. Cette mine consiste en un vaste dépôt d'ocres, d'argiles et d'hématites, qui font partie des terrains tertiaires. Le minerai y est disséminé en masses irrégulières, dont la relation géologique est très-difficile à saisir. Avant la découverte des lignites contenant des fossiles qui se trouvent à Brandon (Vermont), on le rapportait à l'époque du *Drift*. Ce minerai donne une fonte de qualité supérieure; mais le meilleur est une hématite massive et fibreuse. On l'exploite très-irrégulièrement, car il alimente différentes usines dont chacune demande seulement le minerai qui lui convient le mieux. M. Hodge estime que de 1800 à 1850, la mine a produit de 250,000 à 300,000 tonnes de minerai. On obtient un fer d'excellente qualité avec la fonte des hauts fourneaux à l'air froid; la tonne de cette fonte coûte 30 dollars, y compris les frais de transport jusqu'au chemin de fer. Le fer

de Salisbury est d'ailleurs préféré à tous ceux qu'on fabrique dans le Connecticut, surtout lorsqu'il doit servir à la confection d'objets ayant besoin d'une grande ténacité. Le fer obtenu avec la fonte à l'air chaud n'est pas aussi bon ; mais, d'un autre côté, les fourneaux marchant à l'air froid produisent moitié moins, et consomment, au contraire, 50 boisseaux de charbon de bois en plus par tonne de fonte.

Le gîte de Kent égalait autrefois en importance celui de Salisbury, qui est maintenant presque entièrement épuisé.

En 1849, dans les hauts fourneaux qui fondaient le minerai de Salisbury, les frais provenant de l'achat du minerai et du charbon s'élevaient à 23 dollars par tonne de fonte produite.

New-York. — Les gîtes de minerais de fer de l'État de New-York ont une grande importance et leurs caractères sont très-variés. New-York.

Dans la partie orientale de l'État, c'est-à-dire dans les comtés Columbia et Dutchess, l'hématite forme des dépôts étendus et productifs, semblables à ceux du Massachusetts et du Connecticut, qui sont situés dans leur voisinage. En 1849, il existait sept fourneaux qui employaient ce minerai. D'après le professeur Beck, plusieurs de ces gisements d'hématite sont importants. Celui de Fishkill se trouve dans une colline, au contact du micaschiste avec un calcaire gris et blanc. Le gîte de Clove est composé d'hématite brune, et s'étend sur une grande surface, au sud-ouest de la ville Union-Vale. Le gîte de Foss présente absolument les mêmes caractères que le précédent, mais il ne l'égale pas en importance. La mine Amenia est l'une des plus considérables de ce district; elle a déjà fourni de grandes quantités de minerai, et le professeur Mather pense qu'elle pourra encore être exploitée pendant de longues années. Un amas de roches brisées et de gravier recouvre le minerai de fer, qui se trouve à une profondeur de 5 à 20 pieds. En 1838, ce minerai fut exploité jusqu'à une profondeur de 45 pieds, sans qu'on en atteignit le fond. La mine fournit annuellement 5.000 tonnes de minerai donnant 50 p. 100 de fonte. La mine de Prescott, dans la ville de Hillsdale, comté de Columbia, ressemble à la précédente; elle produit de grandes quantités de minerai, et elle est loin d'être épuisée, bien qu'on l'ait exploitée jusqu'à une profondeur de 32 pieds.

La bande de roches métamorphiques, qui passe par l'extré-

mité sud-est de l'État, atteint un grand développement dans les comtés Putnam, Orange et Westchester. Elle renferme de nombreux gisements de fer oxydulé magnétique, qui ont été entièrement négligés jusque dans ces derniers temps. Le professeur Beck pense que le comté d'Orange ne le cède sous le rapport de l'abondance du minerai de fer oxydulé, à aucune contrée du monde, présentant une superficie égale. Il n'y avait cependant en 1849 que deux fourneaux actifs; la construction de deux autres était terminée; et, pour être mis à feu, ils attendaient seulement une hausse sur le prix du fer. Le professeur Beck mentionne les gisements qui suivent parmi ceux qui sont les plus importants: le mont Stirling, dans la ville Monroe, fournit un minerai d'oxyde magnétique, grenu et contenant des pyrites; la mine a été ouverte en 1750, et dès 1751 on a construit un haut fourneau. La mine Belcher est située à 1 demi-mille au sud-ouest du mont Stirling; elle est exploitée sur une largeur de 115 pieds et jusqu'à présent on n'en a pas atteint les limites. La mine Crossway présente une puissance de 14 pieds; elle donne un fer assez bon, mais cassant à chaud. La mine Paterson fournit un minerai très-siliceux qui rend 56 p. 100 de fonte d'une bonne qualité. La mine Forshee est riche en bon minerai. La mine de la forêt Dean, située à 6 milles à l'ouest-nord-ouest du fort Montgommery, consiste en un filon de fer oxydulé magnétique, qui est large de 10 à 16 pieds, et qui se trouve dans des conditions d'exploitation très-favorables.

Il est impossible d'énumérer toutes les localités dans lesquelles il y a des minerais de fer, et d'indiquer les motifs pour lesquels leur exploitation a pris peu de développement. Nous passerons également sous silence des exploitations d'une grande importance qui ont été entreprises récemment; car nous manquons à leur égard de données précises.

La région formée par le terrain azoïque qui occupe une étendue si grande au nord de l'État de New-York, depuis le lac Champlain jusqu'au lac Ontario, est excessivement riche en minerais de fer magnétique et spéculaire. Voici quels sont les principaux gisements.

C'est dans les comtés d'Essex et de Clinton que les mines de fer sont le plus développées et le mieux connues. Les mines du comté Saint-Laurent ont une grande importance; celles des comtés Franklin et Jefferson en ont, au contraire, beaucoup moins. Les minerais de fer qu'on trouve dans cette région ont

été décrits dans les rapports officiels des professeurs Emmons et Beck, et en partie par M. Hodge.

Ceux du comté Clinton sont réputés les meilleurs de l'État. On les trouve en masses intercalées dans le gneiss. Les filons Arnold qui sont le mieux connus, sont au nombre de quatre. Le filon Old-Blue mérite d'être spécialement mentionné à cause de la pureté de son minerai. Sa largeur varie de 2 à 8 pieds; en 1842 il était exploité sur une longueur de 80 toises et jusqu'à une profondeur de 200 pieds. Son minerai consiste, d'après le professeur Beck, en oxyde magnétique presque pur, contenant une très-petite quantité de silice. Les quatre filons en question sont parallèles entre eux; ils ont été simultanément soulevés et traversés par des filons de trapps.

Le gîte Palmer est un immense amas de fer oxydulé magnétique; il est large de 35 pieds et n'a pas de limites nettes; le passage du minerai à la roche qui l'encaisse s'effectue par degrés insensibles. Ce minerai est mélangé à une grande quantité de quartz, aussi est-il nécessaire de le laver. Les filons Cook sont au nombre de quatre, et le plus grand d'entre eux a 18 pieds de largeur sur 1 demi-mille de longueur connue. Leur plongement est presque perpendiculaire à celui de la roche. D'après le professeur Emmons, le fer qu'ils fournissent est très-dur et d'excellente qualité.

Le gîte Winter a la forme d'une plaque épaisse, qui recouvre plusieurs yards carrés de la roche avec laquelle elle est associée. Le professeur Emmons pense que le minerai s'est répandu horizontalement comme aurait pu le faire une lave.

En 1849, la plus grande forge du pays était alimentée par les minerais de ces gisements; elle comptait vingt et un feux, ainsi qu'un four à réchauffer. Le fer en barres qu'elle produit est très-estimé pour la fabrication des clous. M. Hodge estime que cette forge et celles des districts voisins, transforment annuellement en métal 50.000 tonnes de minerai. Le fer en verges et en barres que l'on fabrique supporte bien les frais considérables auxquels donne lieu le transport, tandis qu'il n'en serait pas de même pour la fonte. D'ailleurs, on admet généralement, dans le pays, qu'il y a plus d'avantage à traiter ce minerai au feu de forge que dans le haut fourneau. Les minerais du comté Essex ne sont pas moins estimés que ceux du comté Clinton. Port Henry est le chef-lieu des usines à fer de ce district. La mine Cheever, les filons Sanford, Pen-

field, etc., occupent le premier rang pour la production du fer. La mine Cheevev comprend deux filons dont l'un est large de 6, et l'autre de 8 à 10 pieds. Son minerai est de l'oxyde magnétique très-pur et à gros grain. Les frais pour l'exploitation et le transport jusqu'aux fourneaux s'élevaient en 1849 à peu près à 80 cents. Un chemin construit jusqu'au lac, au bord duquel se trouvent les fourneaux, va faciliter le transport des minerais.

Le filon Sanford est situé à 4 milles au nord-ouest de Port Henry. Son minerai est remarquable par sa structure cristalline et par la grande quantité de phosphate de chaux qu'il renferme. Son exploitation s'effectue facilement et à peu de frais. Les hauts fourneaux le transforment aisément en fonte, mais il ne pourrait pas être travaillé au feu de forge.

La partie la plus reculée du comté renferme de nombreux gisements de minerai, dont plusieurs, bien que très-étendus, n'ont pas cependant été l'objet d'une exploitation importante. Les frais de fabrication de la fonte s'élevaient en 1849, à 20 dollars par tonne. Quant à la tonne de minerai, elle valait 2 dollars, et le boisseau de charbon de bois coûtait 6 cents.

Le minerai du comté Saint-Laurent est le plus généralement du fer spéculaire. L'un de ses principaux gisements, est la mine Parish, à Gouverneur. D'après l'analyse du professeur Beck, son minerai consiste en peroxyde de fer pur, et il ne contient que 2 à 3 p. 100 de silice; il forme une couche régulière qui se trouve entre le gneiss et le grès de Potsdam. Le professeur Emmons le considère, au contraire, comme une masse éruptive, qui aurait percé et redressé les couches de grès.

Le *State Geologist* signale spécialement les filons Tate et Polley.

Le gneiss renferme souvent dans ce comté des filons de fer oxydulé magnétique, mais ils sont loin d'avoir l'importance des gîtes de fer spéculaire.

Les comtés situés au nord de l'État de New-York possèdent beaucoup de minerai des marais.

La partie occidentale de l'État renferme encore, dans les couches du groupe Clinton, des minerais de fer d'une valeur considérable. Ils forment des couches peu épaisses, mais situées près de la surface, et par conséquent faciles à exploiter. Ces minerais consistent en peroxyde terreux, très-compacte, qui est souvent mélangé de fossiles. Ils alimentaient 5 hauts fourneaux en 1849.

New-Jersey. *New-Jersey.* — Le district du New-Jersey, dans lequel la

production du fer a la plus grande importance, n'est que la continuation de celui qui comprend les comtés Dutchess, Orange et Putnam dans l'État New-York.

Les minerais de fer du New-Jersey se trouvent dans des roches formées de gneiss et de schistes avec hornblende, ayant un plongement considérable et une direction comprise entre le nord-est et le sud-ouest. Ils se composent de fer oxydulé magnétique qui est en bancs puissants, parallèles à ceux des roches encaissantes. Les gisements du comté Morris sont exploités sur la plus grande échelle; mais l'abondance du minerai n'est pas moindre dans toute la partie du New-Jersey qui est formée par des roches cristallines. Le *State Geologist* cite spécialement les localités suivantes.

A Pompton, il y a des filons qui ne sont que la continuation de ceux du mont Stirling dans l'État du New-York. Deux filons parallèles y sont l'objet d'une exploitation active, et l'un d'eux est connu sur une longueur de 3 milles. Ils sont encaissés dans un gneiss granitique, riche en hornblende et pauvre en mica. Le filon oriental a une largeur de 6 à 15 pieds, et il donne un minerai d'excellente qualité. Le fer provenant du filon occidental est très-cassant à froid.

On rencontre dans la chaine, qui s'étend à plusieurs milles au nord-est de Succasunny, dans le comté Morris, des gisements de fer oxydulé magnétique d'une grande valeur. Le professeur Rogers pense que ces gisements appartiennent à deux immenses filons parallèles. Des mines ont été ouvertes sur leur direction et à différents intervalles, sur une longueur de 10 milles. La puissance du minerai varie de 5 à 15 pieds. Le meilleur provient des mines situées vers l'extrémité orientale. Le mont Scott, à Warren, abonde également en minerai semblable au précédent.

Il résulte d'un travail complet sur les usines à fer du comté Morris, publié récemment par la Tribune de New-York, qu'il y existait, en 1853, environ 50 forges comptant 90 feux en activité; chacun de ces feux produisait annuellement 75 tonnes de fer en tôle et en barres; il consommait 42.090 boisseaux de charbon de bois. De grands laminoirs existent à Dover, Rockaway, Powerville, Boonton et Charlottenburgh.

Les usines de Boonton sont les plus considérables et les mieux organisées du pays. Dans l'espace de 119 semaines (à partir du 13 fév. 1851), le haut fourneau a produit 11.755 tonnes de fonte,

et a consommé dans cet intervalle 29.995 tonnes d'anthracite. Le même établissement, dans l'espace de sept mois (à partir du 1er oct. 1852), a produit 3.774 tonnes de fer puddlé, 3009 tonnes de tôle propre à la fabrication des clous, 885 tonnes de verge carrée, 836 tonnes de rails et 5.617 de clous. Les cinq forges avec laminoirs qui sont mentionnées ci-dessus occupent 500 ouvriers et consomment 9.000 tonnes d'anthracite pour fabriquer 16.000 tonnes de fer; elles produisent 13.780 tonnes de barres, rails, verges, etc, dont la valeur s'élève à 1.000.000 de dollars.

Pennsylvanie.

Pennsylvanie. — Le cadre restreint de cette notice nous permettra seulement d'indiquer les immenses ressources métallurgiques que possède l'État de Pennsylvanie. Les descriptions géologiques qui ont été publiées dès 1836, ne nous fournissent pas de données complètes sur l'ensemble des mines et des usines à fer; mais, dans son important ouvrage, M. R. L. Taylor nous a fait connaître toutes les houillères du pays, ainsi que la fabrication du fer (1).

M. Taylor a calculé que le terrain houillier occupe en Pennsylvanie près de 15.000 milles carrés. On se formera une idée de la richesse métallurgique de cet état, en prenant enconsidération l'abondance des mines de fer qui se trouvent non-seulement dans ce terrain, mais encore dans ceux qui le recouvrent.

La Pennsylvanie possède des gisements considérables d'anthracite, dont l'usage introduit dans la fabrication de fer, a développé sa production d'une manière surprenante.

Les usines à fer de cet État forment deux groupes bien distincts qui sont séparés par les monts Alleghanys. Celles de la Pennsylvanie orientale se servent de l'anthracite et du charbon de bois, qui sont brûlés dans des hauts fourneaux marchant tantôt à l'air froid, tantôt à l'air chaud. Au contraire, celles de la Pennsylvanie occidentale se servent presque exclusivement du charbon de bois et les hauts fourneaux sont à l'air froid.

Le *State Geologist* rapporte à trois espèces les minerais employés en Pennsylvanie, savoir : le fer oxydulé magnétique, l'oxyde brun et le fer carbonaté lithoïde; ces deux derniers abondent surtout dans un grand nombre de localités. Le fer oxydulé magnétique se rencontre seulement au sud-est de l'État, dans des roches métamorphiques anciennes, ou bien au voisinage des filons de trapp qui traversent les terrains secondaires.

(1) *Statistics of coal.* Philadelphia, 1848.

Le fer carbonaté abonde dans le terrain qui renferme l'anthracite, ainsi que la houille, et il se trouve parfois en quantités inépuisables.

L'hématite brune accompagne la plupart des formations du pays; on la rencontre non-seulement dans les couches secondaires anciennes de la région des Alleghanys, mais encore dans les roches métamorphiques et dans le terrain houiller.

L'analyse du minerai de fer magnétique a montré que sa richesse en fer métallique s'élève à 63 et même à 65 p. 100; il est surtout mélangé à de la silice. L'hématite brune contient 45 à 55, et le carbonate 35 à 45 p. 100 de fer.

Les hauts fourneaux de la Pennsylvanie orientale consomment principalement de l'hématite et du fer magnétique; tandis que ceux de la partie occidentale de l'État sont alimentés par du fer carbonaté argileux, et ne font qu'un usage très-restreint de l'hématite.

Les détails que nous allons donner maintenant sont extraits des « *Documents relating to the manufacture of iron in Pennsylvania,* » ouvrage publié en 1850 par un comité de personnes spécialement intéressées dans les industries du fer et du charbon; ils donneront une idée de l'État de ces industries à cette époque.

Sur les 62 comtés de Pennsylvanie, 45 possédaient des usines de fer; parmi les 17 qui n'en avaient point, 9 comtés abondaient en mines de fer et de houille, qu'elles ne pouvaient exploiter à cause du manque de voies de communication.

Le tableau ci-annexé fait connaître les détails principaux relatifs aux usines de Pennsylvanie dans lesquelles on fabrique de la fonte.

NATURE DES USINES.		NOMBRE.	Capital engagé.	Fabrication possible.	Fabrication en 1847.	Fabrication en 1849.
			Dollars.			
Hauts-fourneaux employant	L'anthracite	57	3.221.000	221.400	151.331	109.168
	La houille	7	223.000	12.600	7.800	4.900
	Le coke	4	800.000	12.000	10.000	»
	Le charbon de bois et l'air chaud	85	3.478.500	150.705	94.819	58.302
	Le charbon de bois et l'air froid	145	5.170.376	173.654	125.155	80.665
Forges		6	28.700	600	545	335
		304	12.921.576	550.959	389.350	253.370

Le tableau suivant contient les détails relatifs à la transformation de la fonte en fer marchand.

NATURE DES USINES.	NOMBRE.	Capital engagé.	Feux de forge.	Fours à puddler.	Fabrication possible.	Fabrication en 1847.	Fabrication en 1849.
		Dollars.					
Forges au charbon de bois.	121	2.026.300	402	»	50.250	39.967	28.49[illegible]
Forges à l'anglaise.	79	5.554.200	»	436	174.400	163.760	108.358
	200	7.580.500	402	436	224.650	203.727	136.8[illegible]

Il importe d'ajouter qu'en 1849, treize usines ont fabriqué 6.078 tonnes d'acier.

On peut estimer que le nombre total des mines de fer est de 504, et la dépense s'y répartit de la manière suivante :

	Dollars.
Capital engagé en terrains, constructions et machines.	20.502.076
Nombre d'hommes employés.	30.103
Nombre de chevaux employés.	13.562
Nombre d'hommes employés indirectement par les usines à fer.	11.513

La consommation du combustible en 1847 était de :

	Dollars.
Anthracite, 483.000 tonnes à 3 dollars.	1.449.000
Houille, 9.007.000 boisseaux à 0,05.	450.380
Bois. 1.490.252 cordes à 2 dollars (1).	2.980.504
	4.879.884

Le tableau qui suit fait connaître la quantité de fonte produite dans l'État de Pennsylvanie depuis 1828. Ses données sont extraites du rapport que nous avons déjà mentionné et des publications de Mr R. L. Taylor sur les mines de houille.

Années.	Fonte produite. tonnes.	Années.	Fonte produite. tonnes.
1828	24.822	1844	246.000
1830	31.056	1846	368.056
1840	98.395	1847	388.805
1842	151.885	1849	253.000
1843	190.000	1850	295.702

Depuis 1850, la production est d'ailleurs en progression continue.

Maryland. *Maryland.* — La production du fer dans l'État du Maryland a été successivement en augmentant. Dès 1756, cet État possédait huit hauts fourneaux et neuf forges actives. Les minerais

(1) Ce qui donne 0,05 par boisseau de charbon de bois.

qu'on y exploite proviennent surtout des terrains tertiaires et houillers. Les hauts fourneaux, situés pour la plupart près des cours d'eau, sont principalement alimentés par un minerai de fer argileux qu'on trouve dans les couches tertiaires qui s'étendent à l'est de cet État. Ce minerai consiste en un carbonate argileux, semblable à celui qu'on exploite dans le terrain houiller.

On exploite également l'hématite en quantités considérables; ses gisements sont d'ailleurs analogues à ceux que nous avons signalés dans la partie orientale de Massachusetts, ainsi que dans la Virginie et dans le Connecticut. D'après M[r] Hodge, à Beaver Dam, à 3 milles du chemin de fer de Cockeysville, l'hématite est recouverte d'une couche d'argile épaisse de 15 pieds, et elle forme des masses agglomérées qui ont chacune un poids de plusieurs tonnes.

Accidentellement on rencontre aussi des minerais de fer magnétique et spéculaire dans la bande de gneiss qui traverse le Maryland; toutefois leur exploitation est très-restreinte.

Les minerais provenant du terrain houiller surpassent tous les autres en importance, et ils offrent d'ailleurs les caractères qui leur sont habituels. Le terrain houiller n'atteint dans cet État qu'une superficie de 550 milles carrés; il est surtout développé dans le comté Alleghany, où l'on remarque les usines de Lonaconing et du Mont Savage. Le docteur Higgins, qui est le chimiste de l'État, divise en quatre classes les minerais de ce comté: 1° le minerai contenant des fossiles; 2° l'hématite rouge; 3° l'hématite brune; 4° le minerai de fer carbonaté argileux. Il remarque que ce dernier forme dans les houillères de la rivière de Youghiogeny, cinq couches distinctes, épaisses de 1 à 5 pieds, qui contiennent 27 à 43 p. 100 de métal. La grande quantité et la bonne qualité du fer ainsi que de la houille sont de nature à donner une grande importance à ce district métallurgique. Les usines du mont Dan emploient une hématite qui rend 50 à 60 p. 100 de fer.

En 1853, il existait dans l'État trente-un hauts fourneaux, capables de transformer annuellement 70.500 tonnes de minerai. D'après le recensement de 1850, dix-huit hauts fourneaux actifs ont produit 43.641 tonnes de fonte.

Virginie. — Cet État abonde en mines de fer et de houille Virginie.
qui sont exploitées sur une vaste échelle, mais nous manquons de données statistiques précises sur sa richesse.

Dès l'année 1732, la Virginie possédait 4 hauts fourneaux.



D'après le *State Geologist*, des filons de fer magnétique et d'hématite se trouvent dans les roches cristallines anciennes. Ainsi, dans le voisinage des houillères bitumineuses de Richmond, ces minerais ont une grande valeur. Dans les montagnes du sud-ouest, il y a d'ailleurs des gisements de fer magnétique et spéculaire qui sont semblables à ceux du New-Jersey. La vallée de la Virginie fournit aussi beaucoup d'hématite.

L'ouest de l'État est occupé par une partie du grand bassin houiller Appalachien, dont la superficie est de 20.000 milles carrés; le minerai de fer y accompagne la houille: cette contrée de l'Union est donc l'une de celles qui sont le plus favorisées sous le rapport des richesses métallurgiques. Toutefois, jusqu'à présent, ces richesses ont été peu exploitées, bien qu'il y ait des usines considérables à Wheeling.

D'après le recensement de 1850, la Virginie possédait vingt-neuf hauts fourneaux produisant 22.163 tonnes de fonte, et trente-neuf forges fabriquant 15.328 tonnes de fer marchand.

Caroline du Nord.

Caroline du Nord. — L'exploitation du fer est très-restreinte dans la Caroline du Nord, et même, s'il faut en croire le recensement de 1850, elle s'élèverait seulement à 400 tonnes par an. Le bassin houiller de la rivière Deep contient peu de minerai de fer susceptible d'exploitation. On trouve bien dans les roches métamorphiques des filons de fer magnétique et spéculaire; mais, à cause du manque de voies de communication, ils ne peuvent être l'objet d'une exploitation avantageuse.

Caroline du Sud.

Caroline du Sud. — M. Thuomey regarde la Caroline du Sud comme étant riche en minerais de fer. Cependant, d'après le recensement officiel, la fabrication y était nulle en 1850. A la date de la publication du *Geological Report*, il y existait seulement huit ou dix hauts fourneaux, qui ne produisaient que de petites quantités de fonte.

Les minerais qui alimentent ces fourneaux sont le fer magnétique et spéculaire, ainsi que l'hématite brune. Les deux premiers se rencontrent dans une petite bande de schiste, longue de 6 ou 8 milles, qui traverse les comtés York, Union et Spartanburg dans une direction Nord 50° Est. L'oxyde magnétique se trouve au milieu des schistes talqueux; il forme des veines qui ont une épaisseur de 1 à 20 pieds, et qui sont parallèles aux couches de la roche encaissante. A la partie supérieure de ces gîtes, le minerai est mélangé avec du schiste et il paraît être de médiocre qualité; mais il ne tarde pas à s'améliorer quand

on pénètre à une petite profondeur. Le fer spéculaire se trouve au milieu des schistes micacés qui sont immédiatement superposés aux schistes talqueux renfermant le fer magnétique. Ces schistes micacés s'étendent sur une ligne qui part de la Caroline du Nord, pour aboutir au mont Gelkey, dans le district Union; le minerai qu'ils renferment est, d'après M. Thuomey, d'une faible valeur, et même il se change peu à peu en sulfure.

L'hématite brune est plus fréquente que les autres minerais de fer; mais on ne connait pas l'importance de ses gisements.

Georgie.

Georgie. — La Georgie possédait deux hauts fourneaux en 1849. Celui qui est situé sur la rivière Etowah est distant de quelques milles seulement de Cartersville, jonction du chemin de fer de l'Atlantique avec celui de l'Ouest; lorsqu'il est actif, il produit 6 tonnes de fonte par vingt-quatre heures. Le recensement de 1850 fait aussi mention de trois hauts fourneaux situés dans l'État; ils fabriquent environ 900 tonnes de fonte par an, auxquelles il faut encore ajouter d'autres produits métallurgiques représentant une valeur de 28.000 dollars.

Alabama.

Alabama. — D'après le *State Geologist*, l'État d'Alabama renferme des gisements d'hématite brune et de fer spéculaire; ils sont au milieu des terrains siluriens anciens, qui se trouvent dans le nord. La fabrication du fer est d'ailleurs peu développée; elle a lieu dans deux hauts fourneaux et huit forges. Les usines principales sont situées dans le canton de Benton, dont la production se réduit à 3 tonnes de fonte par jour.

Tennessee.

Tennessee. — Le recensement de 1850 attribue à l'État de Tennessee une production annuelle de 30.420 tonnes de fer, et le range par conséquent sous ce rapport au nombre des États les plus importants de l'Union. Nous avons malheureusement peu de détails géologiques sur le bassin houiller du Tennessee et le *State Geologist* n'en parle que très-peu. De nouvelles recherches ont été ordonnées récemment, et l'on peut espérer qu'elles contribueront à développer les ressources minérales de cet État. Le grand bassin houiller Appalachien traverse le Tennessee et alimente ses nombreux fourneaux. Le comté Dickson possédait, en 1849, dix hauts fourneaux dont sept actifs; il y avait en outre cinq forges qui étaient actives, à l'exception d'une seule. Le comté Montgomery présentait cinq hauts fourneaux dont quatre actifs, trois forges et un laminoir. Il existait dans les autres comtés qui occupent le milieu de cet État, quatorze hauts four-

neaux actifs et neuf forges. Le Tennessee occidental comptait cinq fourneaux et forges; et le Tennessee oriental douze fourneaux et soixante-dix forges, fours à puddler ou à réchauffer ainsi que laminoirs. Le total des hauts fourneaux se montait dans l'État entier à quarante-sept, et celui des forges etc., à quatre-vingt-douze. Relativement à la production du fer, le Tennessee occupait en 1840 le troisième rang parmi les États de l'Union; mais d'autres États l'ont devancé depuis, en sorte qu'il vient seulement au cinquième rang.

Kentucky. *Kentucky.* — L'extrémité orientale du Kentucky fait partie du bassin houiller Appalachien, tandis que son extrémité occidentale appartient au bassin houiller Illinois. Si nous en croyons le professeur Mather, le terrain houiller occupe dans cet État une surface de 12.000 milles carrés, dont 7.000 renferment des gisements de houille assez riches pour donner lieu à une exploitation avantageuse. Les houilles bitumineuses y sont toujours accompagnées de couches de minerais de fer, dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée à un yard. Ces évaluations sont vraisemblablement exagérées; mais il est cependant hors de doute que cet État est extrêmement riche en houille et en minerais de fer.

Lors du recensement de 1850, le Kentucky possédait vingt-un hauts fourneaux, et sous le rapport de la production du fer, il était le sixième de l'Union. On manque entièrement de détails précis.

Ohio. *Ohio.* — La production du fer est en voie de progrès dans l'Ohio. L'emploi du charbon de bois y est presque exclusif, bien qu'on y trouve d'abondantes mines de houille d'excellente qualité. Dans le sud-est de l'État, et en particulier dans les comtés Hocking et Muskingam, le fer et la houille se rencontrent ensemble et sont faciles à exploiter. Ironton, dans le comté Lawrence, possède des usines d'une très-grande importance; ses dix hauts fourneaux ont produit en 1853, près de 20.000 tonnes de fonte. La production totale du comté a atteint le chiffre de 28.000 tonnes.

Le dernier recensement a constaté qu'il existe dans l'Ohio 35 hauts fourneaux actifs donnant annellement 52 658 tonnes de fonte. On a reconnu d'ailleurs que ces chiffres ont été de beaucoup dépassés dans les dernières années.

Michigan. *Michigan.* — *Péninsule inférieure.* — L'exploitation du fer est très-restreinte dans la péninsule qui forme le sud du Michigan. Le

grand bassin houiller est encore à peu près inexploré. M. Taylor annonce cependant qu'un excellent minerai de fer carbonaté argileux accompagne la houille qui est sur les bords de la rivière Shiawassee. Le minerai de fer des marais est aussi très-abondant dans tout le pays.

Péninsule supérieure ou *région du lac Supérieur.* — Les grands gîtes de minerai de fer qui sont près du lac Supérieur, ressemblent à ceux de la Suède et du Missouri ; ils se trouvent dans le terrain azoïque, et ils forment littéralement des montagnes entières qui seraient en état de fournir des quantités illimitées du minerai le plus pur (1). Leur distance au lac Supérieur est à peu près de 12 milles ; un chemin de fer qui est actuellement en construction les rendra facilement accessibles. Ils se rencontrent à divers intervalles, dans une bande de schiste, large de 6 à 36 milles et longue de 150, qui se prolonge jusque dans le Wisconsin.

Le minerai consiste habituellement en peroxyde de fer ou fer spéculaire : quelquefois, il est presque chimiquement pur ; mais le plus souvent il contient de petites quantités de matière siliceuse. Dans plusieurs localités de beaux cristaux de fer oxydulé magnétique sont aussi disséminés intimement dans la masse du minerai. Il est rare qu'on y trouve de petites quantités de soufre, de phosphore et d'acide titanique, en sorte qu'il peut produire un fer fibreux d'une grande dureté. Toute la région est abondamment boisée ; par suite, pendant de longues années, le charbon de bois restera à des prix modérés. Le minerai forme d'ailleurs des masses qui se trouvent à la surface des montagnes, et par conséquent son exploitation est des plus faciles ; elle a lieu sans aucun travail souterrain et à ciel ouvert.

Malgré la grande richesse métallurgique de ce district, l'exploitation du fer y est réduite à des proportions extrêmement petites. Deux forges seulement y ont été établies, l'une sur la rivière Marquette, au bord du lac même, l'autre sur le principal gîte de fer, à 10 milles de ses rivages. En 1853, on a embarqué environ 800 tonnes de fer provenant de cet établissement. Lorsque le canal tournant le saut Sainte-Marie sera terminé et permettra d'éviter un transbordement, de grandes masses de minerai seront sans nul doute transportées jusqu'aux ports des lacs inférieurs, et serviront à alimenter des hauts-fourneaux qu'on y construira à proximité des mines de houille.

---

(1) *Forster and Withney* : Report, Part. II, p. 50.

Indiana et Illinois.

Indiana et *Illinois*. — L'Illinois tout entier ainsi qu'une grande partie de l'Indiana sont formés par le terrain houiller qui contient des couches exploitables de minerai de fer carbonaté argileux. Cependant, le recensement de 1850 mentionne quatre hauts fourneaux existant dans ces deux États. Le vaste système de chemins de fer qui est actuellement en construction, va d'ailleurs faciliter les communications avec tous les ports du pays et donnera une grande impulsion à son industrie métallurgique. D'un autre côté, les recherches géologiques récemment entreprises, jetteront quelque lumière sur des gisements de minerai, qui aujourd'hui ne sont encore connus que d'une manière très-imparfaite. On assure que la houille et le minerai de fer provenant des mines situées vers le sud et près de la rivière Big-Muddy, sont d'une qualité supérieure.

Missouri.

Missouri. — L'État du Missouri possède d'immenses ressources pour la fabrication du fer. Les principaux gisements de ses minerais sont dans les terrains azoïques; parmi les plus remarquables, on doit citer les montagnes formées de peroxyde de fer qu'on a nommées *Iron-Mountain*, et le *Pilote-Knob*. Leur renommée est universelle. Il y a aussi de nombreux gisements d'hématites, qu'on rencontre au milieu des couches paléozoïques; ils donnent déjà lieu à une exploitation considérable et ils peuvent fournir de grandes quantités de minerai de bonne qualité.

La montagne dite *Iron-Mountain* nous présente un exemple remarquable de minerais ayant un caractère éruptif, qui se trouvent dans le terrain azoïque. C'est un dôme aplati de 200 pieds de hauteur; il forme l'extrémité ouest d'une masse de porphyre feldspathique rouge, qui s'élève de 100 à 200 pieds au-dessus du dôme formé par le minerai de fer et qui se prolonge de 1 à 2 milles du côté de l'est. A sa surface, l'*Iron-Mountain* est parsemée de blocs de minerai, qui, par leur grandeur croissante, et par l'absence de végétation, deviennent de plus en plus apparents à mesure qu'on approche du sommet. Ce sommet lui-même présente des blocs énormes qui sont entassés les uns sur les autres, et recouverts de mousse. Les flancs et les abords de la montagne ne permettent plus de voir, ni la roche, ni le minerai, dans leur position naturelle, tant ils ont été fouillés et retournés par la main de l'homme. Vers l'ouest, on aperçoit une grande excavation qui a été faite pour extraire du minerai. On a pratiqué une ouverture verticale ayant 8 pieds

de profondeur à laquelle succède un puits profond de 7 pieds; on est arrivé ainsi jusqu'à une couche d'argile rouge qu'on a entamée sur un pied de profondeur, sans rencontrer le minerai de fer en masse compacte. Ainsi, le minerai désagrégé forme de ce côté de la montagne un amas qui n'a pas moins de 15 pieds d'épaisseur. Il se compose entièrement de petits fragments de minerai qui sont quelquefois arrondis, et entassés, sans autre mélange qu'un peu d'argile ferrugineuse ayant une couleur rouge-brique. Le minerai n'a pas besoin de lavage, ni d'aucune préparation préalable, car il ne contient pas de cailloux roulés non plus que d'autres substances étrangères. C'est un peroxyde presque pur, dans lequel il y a seulement un peu de silice. On l'exploite dans le voisinage immédiat des hauts fourneaux, et il est facile d'en extraire des quantités indéfinies. En 1852, il y avait deux hauts fourneaux en activité et ils fabriquaient 9 tonnes de fonte par jour. Le fondant se trouve à une distance d'un demi-mille; il est abondant, et on le paye à raison de 25 cents par tonne de fonte produite. Le charbon de bois s'emploie exclusivement: comme la compagnie possède de grandes forêts, il ne lui coûte que 3 1/2 cents le boisseau; ce prix représente les frais de transport et de carbonisation. On consomme 110 boisseaux de charbon, par tonne de fonte. Les hauts-fourneaux ont 36 pieds de hauteur. Le minerai est livré aux usines au prix de 80 cents la tonne.

La seule cause qui entrave maintenant l'exploitation du minerai de fer d'*Iron-Mountain*, est son éloignement des grands centres de consommation. Son transport jusqu'au Mississipi, n'est même praticable que pendant une partie de l'année et il coûte 7 1/2 dollars par tonne. Le chemin à rails de bois qu'on construit jusqu'à Sainte-Geneviève réduira ces frais de moitié On a d'ailleurs commencé à construire un chemin de fer qui reliera la région des mines à Saint-Louis, et qui servira sans aucun doute à transporter de grandes masses de minerai jusqu'aux bords du fleuve.

Le *Pilote-Knob* diffère notablement par ses caractères du gîte d'*Iron-Mountain*. Élevé de 650 pieds au-dessus de sa base, il se compose essentiellement d'une roche quartzeuse, qui est nettement stratifiée et qui plonge vers le sud sous un angle de 25° à 30°. Le quartz prédomine jusqu'aux deux tiers de la hauteur; au-dessus, le minerai de fer forme des couches épaisses qui alternent avec le quartz. Quelques-unes d'entre elles ont



une grande étendue et sont composées de fer oligiste micacé et spéculaire presque entièrement pur. Les couches les plus riches affectent une disposition évidemment schisteuse; c'est le contraire de ce que l'on observe à *Iron-Mountain*. Le nom de *Pilote-Knob* (Bosse du Pilote), a été donné à ce gîte, parce que son sommet, qui est nu et crevassé, s'aperçoit à de grandes distances. On trouve, dans le voisinage de *Pilote-Knob*, des gîtes moins connus, mais qui fournissent un minerai au moins égal, sinon supérieur en qualité. Celui de la montagne Shepherd est très-estimé; il consiste en oxyde de fer magnétique. Le minerai de Bogy-Bank fournit un beau minerai qui renferme accidentellement des druses de quartz. Le Russell-Bank se compose de peroxyde à grain très-fin qui est très-pur, et qui donne un fer d'excellente qualité. *Pilote-Knob* possédait en 1852, un haut fourneau et une forge avec six feux qui avait été construite en 1848. Sa production annuelle etait de 4.000 tonnes de fer. Les frais de production s'elevaient à 30 dollars par tonne de fer. La tonne de minerai coûtait 20 cent au *Pilote-Knob*, et 55 au mont Shepherd. La compagnie du *Pilote-Knob* possède les forêts qui sont nécessaires pour sa fabrication. Elle paye 35 cents par corde de bois abattu et coupé, et 2 3/4 à 3 par boisseau de charbon livré au haut fourneau.

Pilote-Knob et *Iron-Mountain* occupent près de 300 personnes. L'abondance et la pureté de leurs minerais font espérer que de grandes quantités en seront transportées jusqu'au Missisipi, pour y être traitées par le charbon minéral. Toutefois, acuellement, le charbon de bois est abondant et à bas prix.

Plusieurs hauts fourneaux établis sur la rivière Maramec font surtout usage de l'hématite brune; toutefois nous manquons de détails sur leur fabrication.

Birmingham, situé sur le Mississipi, à 150 milles au-dessus de Saint-Louis, possède d'abondantes mines d'hématite brune qui sont restées inexploitées jusqu'en 1852.

Il paraît que le terrain houiller du Missouri est pauvre en minerais de fer, autant qu'on en peut juger d'après le petit nombre de recherches qui a été fait jusqu'à présent.

Jowa. *Jowa.* — Nous avons très-peu de données sur les minerais de fer du terrain houiller de Jowa. Les couches de houille elles-mêmes sont peu épaisses, en sorte que leur exploitation ne paraît pas avantageuse. Le docteur Owen fait mention de dépôts étendus de minerais de fer, qui sont situés vers le centre

l'État d'Iowa. Il leur assigne plusieurs toises d'épaisseur, sans préciser autrement leurs caractères, ce qui nous porte à leur attribuer peu d'importance.

Wisconsin. — Les mines de fer du lac Supérieur que nous avons rencontrées sur les frontières du Michigan, se prolongent jusque dans le Wisconsin, et elles ne changent pas de caractères. Si nous en croyons M. Whittlesey, leur exploitation est impossible dans les circonstances actuelles; car, les principaux gisements sont séparés du Lac supérieur par 18 à 28 milles d'un pays complétement désert, et, d'un autre côté, les mines de fer abondent tellement dans tout le pays, que pendant de longues années encore on se bornera à exploiter celles qui sont situées dans le voisinage des voies navigables. Wisconsin.

Iron-Ridge, dans le comté Dodge, peut devenir par la suite un centre important de fabrication pour le fer. Son mineral est du peroxyde ayant la structure oolitique; il forme une couche puissante dans des roches qui sont vraisemblablement de l'âge du groupe Clinton dans l'État de New-York. On vient d'y construire un haut fourneau et un laminoir; ce sont les seuls établissements de ce genre qui existent dans le Wisconsin.

Les gîtes de fer de la vallée du Mississipi ne peuvent tarder à acquérir beaucoup d'importance. L'accroissement rapide de la population et de la richesse du pays nécessitent une grande consommation de fer, et du reste nulle part ailleurs on ne pourrait le fabriquer avec plus d'économie. La création d'un réseau de chemins de fer à l'ouest du Mississipi augmentera beaucoup la consommation de ce métal, et contribuera puissamment au développement des ressources métallurgiques de cette région.

Canada. — Les Colonies Anglaises de l'Amérique du Nord sont déjà très-riches en mines de fer de toutes espèce, et cependant elles commencent à peine à exploiter leurs richesses métallurgiques. Sir William Logan, géologue du Canada, a réuni une collection très-intéressante de tous les minéraux utilement exploitables. Il résulte de ses recherches que les mines d'oxyde magnétique et de fer spéculaire abondent aussi dans le Canada. Elles s'y rencontrent en général au milieu de ces terrains formés de couches alternantes de gneiss et de calcaire cristallisé, qui s'étendent du lac Huron au Labrador, et qui se réunissent aux terrains semblables de l'État de New-York. Canada.

Les minerais de fer du Canada ne diffèrent d'ailleurs pas de ceux de l'État de New-York; ils forment d'immenses couches

intercalées dans le gneiss, et ils sont très-inclinés à l'horizon. Une de ces couches atteint sur le territoire de la ville de Marmora une épaisseur de 100 pieds. A Madoc, elle s'étend sur plusieurs milles et elle a une largeur de 25 pieds; elle est l'objet d'une exploitation importante. On trouve près du lac Myer, dans le Sherbrooek méridional, une couche de 60 pieds d'épaisseur. Dans le South-Crosby une masse de 200 pieds d'épaisseur a également été observée. Les minerais des localités précédentes consistent principalement en fer oxydulé magnétique, qui renferme 60 à 70 p. 100 de métal. Ils se trouvent au milieu d'un pays très-boisé, et riche en cours d'eau qui pourraient facilement être utilisés comme force motrice. Les minerais de fer spéculaire y abondent aussi; ils forment entre autres à Macnab une couche de 25 pieds d'épaisseur, qui sous tous les rapports est dans une situation très-avantageuse.

Le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse abondent également en minerais de fer, ainsi qu'en bois et en houille (1).

Production de la fonte et du fer.

Nous venons de faire connaître d'une manière bien imparfaite quelle est la distribution des minerais de fer aux États-Unis. Cet important sujet aurait demandé à être traité à fond; mais malheureusement les données nous faisaient souvent défaut, et, d'un autre côté, il est au-dessus des forces individuelles d'un homme de visiter toutes les localités de l'Union qui possèdent des mines et des usines à fer, ou même de réunir les documents statistiques qui les concernent. Les chiffres que nous avons donnés pour chaque État sont empruntés au recensement de 1850. Nous y ajouterons deux tableaux extraits du résumé de M. Kennedy, sur le septième recensement.

Le premier renferme des détails sur la production de la fonte, et le deuxième sur celle du fer manufacturé. M. Kennedy les faisait suivre d'un troisième qui nous a paru de moindre importance; il embrassait la fabrication de la fonte de moulage. Il résulte de ce dernier tableau qu'il existe dans 29 États de l'Union, 1.391 usines qui emploient 23.489 personnes, 356.969 tonnes de fonte et de vieux fer, ainsi que 9.850 tonnes de minerai; ces usines fabriquent 322.745 tonnes de fonte de moulage, dont la valeur jointe à celle des autres produits s'élève à 25.108.155 dollars.

(1) On peut consulter, relativement aux mines de fer du Canada, divers travaux de MM. Logan et Sterry Hunt, notamment l'*Esquisse géologique du Canada* publiée en 1855 lors de l'Exposition universelle de Paris.

Tableau de la fabrication de la fonte aux États-Unis.

ÉTATS.	Nombre d'usines en activité.	Capital engagé.	Tonnes de minerai employé.	Tonnes de charbon minéral.	Boisseaux de charbon de bois.	Valeur des matières premières, combustibles, etc.	Nombre d'ouvriers employés.	Prix moyen de la main-d'œuvre pour un mois.	Tonnes de fonte fabriquées.	Valeur des autres produits.	Valeur de tous les produits.
		dol.				dol.		dol.		dol.	dol.
Maine.	1	214.000	2.907		213.970	14.939	71	22 00	1.484		36.616
New-Hampshire.	1	2.000	500		50.000	4.900	10	18 00	200		6.000
Vermont.	3	62.500	7.676	150	326.437	40.175	100	22 08	3.200		68.000
Massachusetts.	6	469.000	27.900		1.855.000	185.741	263	27 52	12.287		295.123
Connecticut.	13	225 600	33.450		2.870.000	289.225	148	26 80	13.420	20.000	415.600
New-York.	18	605 000	46.385	20	3.000.074	321.027	505	25 00	23.022	12.800	597.920
New-Jersey.	10	967.000	51.266	20.865	1.621.000	332.707	600	21 20	24.031		560.544
Pennsylvanie.	180	8.570.425	877.283	316.060	27.505.186	3.732.427	9.294	21 65	285.702	40.000	6.071.513
Maryland.	18	1.420.000	90.866	14.088	3.707.500	560.725	1.370	20 14	43.641	96.000	1.056.100
Virginie.	29	513.800	67.319	39.982	1.311.000	158.807	1.129	12 76	22.163		521.974
Caroline du Nord.	2	25.000	900		150.000	27.900	31	8 00	400		12.500
Géorgie.	3	26.000	5.139		430.000	25.840	138	17 44	900	28.000	57.300
Alabama.	3	11.000	1.838		145.000	6.770	40	17 50	522	5.000	22.500
Tennessée.	23	1.021.400	88.810	177.167	160.000	254.900	1.822	12 81	30.420	41.900	676.100
Kentucky.	21	924.700	72.040		4.576.269	960.152	1.855	20 23	24.245	10.000	604.037
Ohio.	35	1.503.000	140.610	21.730	5.428.800	630.037	2.415	24 48	52.658		1.255.850
Michigan.	1	15.000	2.700		185.000	14.000	25	35 00	660	6.000	21.000
Indiana.	2	72.000	5.200		310.000	24.400	88	26 00	1.850		58.000
Illinois.	2	65.000	5.500		179.000	15.500	150	22 06	2.700		70.200
Missouri.	5	619.000	37.000	55.180		97.367	334	24 28	19.250		314.600
Visconsin.	1	15.000	3.000		150.000	8.250	60	30 00	1.000		27.000
Total.	377	17.346.425	1.579.309	615.242	51.165.236	7.005.289	20.448		564.755	239.700	12. 748.777

Tableau de la fabrication du fer aux États-Unis.

ÉTATS.	Nombre d'usines en activité.	Capital engagé.	Tonnes de fonte employées.	Tonnes de fer produites.	Tonnes de minerai employées.	Tonnes de charbon minéral.	Boisseaux de coke et de charbon de bois.	Valeur des matières brutes employées.	Nombre d'ouvriers employés.	Prix moyen de la main-d'œuvre pour un mois.	Tonnes de fer manufacturé.	Valeur des autres produits.	Valeur de tous les produits.
		dol.						dol.		dol.		dol.	dol.
New Hampshire. . . .	2	4.000	145				50.000	5.600	6	32 00	110		10.400
Vermont.	8	62.700	750	525	2.625		337.000	66.194	57	31 05	2.045		163.986
Massachusetts.	6	610.300	7.030			11.022	78.500	221.194	260	22 50	6.720		428.320
Rhode Island.	1	208.000	3.000			6.000		111.750	220	26 00	2.650		222.400
Connecticut.	18	529.500	7.081	1.644		5.062	783.600	358.780	374	31 59	6.325	5.000	667.560
New-York.	60	1.131.300	8.530		44.642	13.908	5.554.150	838.314	1.037	26 00	13.636	195.000	1.423.968
New-Jersey.	53	1.016.843	10.430		14.549	4.507	1.994.180	320.950	593	27 78	8.162		629.273
Pennsylvanie.	131	7.620.066	163.702	20.405		325.967	3.930.998	5.443.391	6.771	27 68	182.506	219.500	8.902.907
Delaware.	2	15.000	510	60			228.000	19.500	50	24 19	550		55.000
Maryland.	17	780.650	10.172	3.389		10.455	246.000	439.511	568	23 33	10.000		771.431
Virginie.	39	791.211	17.296	2.500		68.515	103.000	591.448	1 295	23 62	15 328		1.254.995
Caroline du Nord. . .	19	103.000			4.650		357 900	28.114	187	10 37	850		66.980
Georgie.	3	9.200	100				76.630	5.986	27	11 35	90		15.384
Alabama.	1	2.500	120				30.000	3.000	14	20 00	100		7.500
Tennessée.	42	755.050	11.696	325	9.151	62.038		285.616	786	15 20	10.348	38.800	670.618
Kentucky.	4	176.000	2.000	1.600			280.000	180.800	183	32 06	3.070		299.700
Ohio.	11	620.800	13.675	2.900		22.755	466.900	604.493	708	33 61	14.416		1.076.192
Indiana.	3	17.000	50		3.150		85.000	4.425	24	27 45	175		11.760
Missouri.	2	42.100	1.204			9.831		24.500	101	30 00	963		68.700
Total.	422	14.495.220	251.491	33.344	78.787	538.063	14.510.828	9.698.100	13.257		278.014	458.300	16.747.074

Voici les principaux résultats des recensements qui ont été faits en 1840 et en 1850.

	Recensement de 1840.	Recensement de 1850.
Nombre de hauts-fourneaux dans les États-Unis.	804	377
Fonte produite	286.903t	564.755t
Nombre de laminoirs, feux d'affinerie et forges.	795	422
Fer manufacturé produit	197.233t	278.044t

Le recensement de 1850 nous montre d'ailleurs que parmi les 31 États de l'Union, on en comptait 10 qui n'avaient pas de haut fourneau et 12 qui n'avaient pas d'usines à fer. La plupart des États qui ne produisent pas de fer possèdent cependant de grands gisements de minerais de ce métal, et quelques-uns d'entre eux sont tellement riches en houille qu'ils ne tarderont certainement pas à se placer au premier rang pour la fabrication du fer.

Par une circonstance très-heureuse, les mines de fer sont associées aux mines de houille, que nous possédons en quantité plus considérable qu'aucune autre nation de l'univers. M. Taylor affirme même que la portion connue de l'espace occupé par les bassins houillers s'élève à 133.132 milles carrés, sans y compter les bassins de Jowa, du Missouri et de l'Arkansas. Il est vrai que nous ne connaissons, ni la nature, ni l'épaisseur exploitable de ces derniers bassins. Toutefois, nous savons, d'après le docteur Owen, que les bassins houillers situés à l'ouest du Mississipi, n'occupent pas moins de 50.000 milles carrés en superficie, ce qui, ajouté au chiffre donné par M. Taylor et déduction faite de 6.000 milles carrés qu'il attribue au Missouri, porte à 177.000 milles carrés la superficie des bassins houillers contenus dans les 31 États de l'Union. Si l'on considère maintenant que nos innombrables gisements de minerais de fer ne permettent véritablement pas d'assigner de limites à la production de ce métal, on en conclura que les États-Unis sont, sous ce rapport, le pays le plus favorisé du monde. Les canaux et les chemins de fer actuellement en construction, mettent chaque jour de nouveaux gisements de houille et de fer en communication avec les principaux centres de consommation ; ils vont donc contribuer puissamment au développement de toutes nos ressources métallurgiques.

Le tableau suivant montre, du reste, avec quelle rapidité la production du fer s'accroît aux États-Unis.

Années.	tonnes.	Années.	tonnes.
1810	54.000	1842	215.000
1828	130.000	1845	486.000
1829	142.000	1846	765.000
1830	165.000	1847	800.000
1831	191.500	1849	800.000
1832	200.000	1850	600.000
1840	347.000		

Les chiffres relatifs aux années 1810 à 1832 sont extraits des publications de H. C. Carey et R. C. Taylor. Celui de l'année

1840 est le résultat des recherches faites par le comité de New-York (*Home-League*). Il surpasse de 63.000 tonnes celui du recensement fait à la même époque, et il paraît mériter plus de confiance. L'évaluation de la production de 1846 est empruntée aux rapports officiels du Secrétariat du Trésor. Enfin, le montant de la production de 1849 a été évalué par le comité des propriétaires de forges et de houillères de la Pensylvanie. Cette production a notablement diminué pendant les deux années suivantes, mais elle s'élevait à près de 1.000.000 tonnes en 1854.

Nous terminerons ce résumé sur la métallurgie du fer aux États-Unis par un tableau de la production du fer dans tous les pays de l'univers. Il ne comprend pas certains pays de l'Asie et de l'Amérique méridionale ; mais, comme leur production alimente seulement la consommation locale, elle a peu d'importance, et du reste elle n'aurait pu être évaluée même approximativement.

Production du fer en Europe et aux États-Unis.

Années.	Russie.	Suède.	Norwége.	Grande-Bretagne.	Belgique.	Prusse.	Saxe.
1800	»	»	»	180.000	»	»	»
1810	»	»	»	294.642	»	»	»
1820	»	»	»	368.000	»	»	»
1825	»	»	»	581.367	»	»	»
1830	179.850	»	»	678.417	»	41.409 av.	»
1835	»	104.785	»	1.000.000	»	58.926 av.	4.371
1840	168.975 av.	133.675	»	1.396.400	106.878	98.452 av.	»
1845	»	»	8.119	1.512.500	220.000	102.174	»
1846	»	»	»	»	»	115.216	»
1847	»	»	»	1.998.558	»	135.731	»
1848	»	»	»	2.093.736	»	125.916	7.140
1849	188.337 av.	122.925	»	»	»	115.254	6.591
1850	»	147.293	5.000	2.380.000	»	132.873	»
1851	»	»	»	2.500.000	»	145.519	6.979
1852	»	»	»	2.701.000	»	»	»

Années.	Allemagne.	Suisse.	Autriche.	Italie.	Espagne.	France.	États-Unis.
1810	»	»	»	»	»	»	54.000
1825	»	»	75.783 av.	»	»	170.000	»
1830	»	»	88.979 av.	»	»	262.165	165.000
1835	»	»	96.138 av.	»	»	289.985	»
1840	»	»	182.597 av,	»	»	342.278	315.000
1845	»	»	172.385 av.	»	29.034	441.876	502.000
1846	»	»	»	»	»	531.750	765.000
1847	70.000	»	197.713	»	40.053	522.386	800.000
1848	»	»	201.350	»	»	»	»
1849	»	»	»	»	29.715	514.172	650.000
1850	»	14.000	»	22.500	»	»	600.000

La production actuelle du fer en Europe et aux Etats-Unis peut être évaluée approximativement ainsi qu'il suit :

Pays.	Tonnes.	Proportion fabriquée sur 100.	Pays.	Tonnes.	Proportion fabriquée sur 100.
Empire russe. . . .	200.000	3,4	Le reste de l'Allemagne.	100.000	1,7
Suède et Norwége.	155.000	2,7	Suisse.	16.000	2
Grande-Bretagne.	3.000.000	51,6	France.	600.000	10,3
Belgique.	300.000	5,2	Espagne.	40.000	7
Prusse.	150.000	2,6	Italie.	25.000	4
Saxe.	7.000	1	Etats-Unis.	1.000.000	17.2
Autriche.	225.000	3,9		5.817.000	100,0

Héron de Villefosse portait à 740.000 tonnes la totalité du fer fabriqué en 1808; en partant de ce chiffre, nous voyons la production du fer devenir huit fois plus grande dans le court espace d'un demi-siècle. La Grande-Bretagne fournit d'ailleurs 1/2 et les Etats-Unis 1/6 du fer fabriqué dans le monde entier.

Importation.

Malgré cette production considérable, les États-Unis importent encore de grandes quantités de fer; il est facile de s'en s'en convaincre en étudiant le tableau suivant :

Années.	Fonte, rebuts et débris.		Fer en barres et manufacturé.		Acier.		Objets divers manufacturés.	Valeur totale.
	Tonnes.	Valeur.	Tonnes.	Valeur.	Tonn.	Valeur.	Valeur.	
		dollars.		dollars.		dollars.	dollars.	dollars.
1849	115.028	1.564.951	196.343	7.162.640	6.349	1.172.094	5.010.676	14.910.361
1850	86.034	1.189.469	279.875	9.042.433	6.116	1.292 060	6.000.497	17.524.459
1851	75.837	919.526	298.024	9.228.702	7.803	1.531.692	7.058.182	18.738.102
1852	99.654	1.052.635	356.383	10.923.654	9.027	1.672.030	6.846.767	20.495.086

Nous donnerons encore un tableau qui indique les pays desquels proviennent nos importations; il est extrait des tableaux d'importations de l'année finissant le 30 juin 1852.

Pays desquels provient l'importation.	Nature du produit importé.	Tonnes.	Valeur.	Valeur.
			dollars.	
Grande-Bretagne.	Fonte.	91.149	927.055	18.487.672
	Vieille fonte.	6.049	81.554	
	Fonte de moulage.	351	18.114	
	Barres	318.236	8.967.669	
	Fer manufacturé (verges, tôle)	19.125	798.140	
	Acier	6.550	1.629.222	
	Objets divers manufacturés.	»	6.065.918	
Suède et Norwége.	Barres.	14.104	751.050	773.674
	Acier	365	22.624	
Russie . . .	Barres.	142	7.984	320.090
	Tôle.	2.315	312.106	
Belgique. .	Objets manufacturés.	»	424.049	424.747
	Objets divers.	»	698	
France. . .	Objets manufacturés.	»	240.790	243.427
	Objets divers.	»	2.637	
Autres pays.	. . . .	. . . .	. . . . .	411.982
				20.661.592

Nous n'avons pas tenu compte de la réexportation, qui est peu considérable et qui explique le désaccord entre les chiffres des deux tableaux précédents. La plus grande partie du fer importé aux États-Unis, provient d'Angleterre (1); la Suède et la Norwége nous envoient du fer de qualité supérieure, mais en quantité peu considérable; la Russie nous approvisionne en tôles, qu'elle fabrique mieux que tout autre pays. Il ne nous vient de France et de Belgique que de l'acier et du fer manufacturé.

Exportation. Nous terminerons par un tableau faisant connaître l'exportation du fer pendant une période de 4 ans. Ces chiffres sont très-inférieurs à ceux de l'importation; ils ne sont cependant pas assez petits pour être négligés.

Années.	Fonte. — Tonnes.	Fonte de moulage. — Valeur.	Clous.		Fer. — Tonnes.	Fer manufacturé. — Valeur.	Valeur totale.
			Tonnes.	Valeur.			
		doll.		doll.		doll.	doll.
1849	83	60.175	1.400	149.358	251	886.639	1.110.500
1850	25	78.318	1.703	154.210	388	1.677.792	1.931.500
4851	351	164.425	2.366	215.652	215	1.875.621	2.273.500
1852	105	191.388	1.620	118.624	8.316	1.993.807	2.720.000

Il importe de remarquer que notre consommation qui était en 1849 de 1.100.000 tonnes s'est élevée, en 1854, jusqu'à près de 1.500.000 tonnes; elle a donc augmenté considérablement. Et quoi de plus propre à faire bien apprécier l'immense progrès matériel des États-Unis, que cette grande consommation de fer et l'accroissement si rapide qu'elle a subi en quelques années!

(*Extrait par* M. Delesse *de l'ouvrage de* M. Whitney : Metallic wealth of the United States, p. 457).

Production des métaux dans le monde entier (2).

Il est assurément fort difficile de se rendre compte d'une manière précise des quantités de métaux qui sont fabriquées dans le monde entier. Voici cependant deux tableaux dans lesquels nous présentons quelques chiffres qui résument la production et la valeur de l'industrie métallurgique pendant l'année 1854.

(1) *Annales des mines*, 5e série, t. VII, p. 621.
(2) Whitney : *Metallic wealth of the United States*, p. 505.

Quantité approximative de métaux produits en 1854 dans le monde entier.

	OR.	ARGENT.	MERCURE.	ÉTAIN.	CUIVRE.	ZINC.	PLOMB.	FER.
	livres troy.	livres troy.	livres avoir.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Empire Russe.	60.000	58.000	»	»	6.500	4.000	800	200.000
Suède.	2	3.500	»	»	1.500	40	200	150.000
Norwége.	»	17.000	»	»	550	»	»	5.000
Grande-Bretagne.	100	70.000	»	7.000	14,500	1.000	61.000	3 000.000
Belgique.	»	»	»	»	»	16.000	1.000	300.000
Prusse.	»	30.000	»	»	1 500	33.000	8.000	150.000
Le Harz.	6	30.000	»	»	150	10	5.000	»
Saxe.	»	60.000	»	100	50	»	2.000	7.000
Le reste de l'Allemagne.	»	3.000	»	»	»	»	1.000	100.000
Autriche.	5.700	90.000	500.000	50	3.300	1.500	7.000	225.000
Suisse.	»	»	»	»	»	»	»	15.000
France	»	5.000	»	»	»	»	1.500	600.000
Espagne.	42	125.000	2.500.000	10	500	»	30.000	40.000
Italie.	»	»	»	»	250	»	500	25.000
Afrique.	4.000	»	»	»	600	»	»	»
Asie méridionale et Indes orient.	25.000	»	»	5.000	3.000	»	»	»
Australie et Océanie.	150.000	8.000	»	»	3.500	»	»	»
Chili.	3.000	250.000	»	»	14.000	»	»	»
Bolivie.	1.200	130.000	»	1.500		»	»	»
Pérou.	1.900	300.000	200.000		1.500	»	»	»
Équateur, Nouvelle-Grenade, etc.	15.000	13.000	»	»		»	»	»
Brésil.	6.000	700	»	»		»	»	»
Mexique.	10.000	1.750.000	»	»		»	»	»
Cuba.	»	»	»	»	2,000	»	»	»
Etats-Unis.	200.000	22.000	1.000.000	»	3.500	5.000	15.000	1.000.000
	481.950	2.965.200	4.200.000	13.660	56.900	60.550	133.000	5.817.000

Valeur approximative des métaux produits en 1854 dans le monde entier.

	OR.	ARGENT.	MERCURE.	ÉTAIN.	CUIVRE.	ZINC.	PLOMB.	FER.	Somme des valeurs produites dans chaque pays.
	dol.	dol.	dol.	dol.	dol.	dol.	dol.	dol.	
Empire Russe.	14.850.000	928.000	»	»	3.900.000	440.000	92.000	5.000.000	25 210.000
Suède.	496	56.000	»	»	900.000	4.400	23.000	3.750.000	4.733.896
Norwége.	»	272.000	»	»	330.000	»	»	125.000	727.000
Grande-Bretagne	21.800	1.120.000	»	4.200.000	8.700.000	110 000	7 015.000	75.000.000	96.169.800
Belgique.	»	»	»	»	»	1.760.000	115.000	7.500.000	9.375.000
Prusse.	»	480.000	»	»	900.000	3.630.000	920.000	3.750.000	9.680.000
Le Harz.	1.488	480.000	»	»	90.000	1.100	575 000	»	1.147 588
Saxe.	»	960.000	»	60.000	30.000	»	230.000	175.000	1.455.000
Le reste de l'Allemagne.	»	48.000	»	»	»	»	115 000	2 500.000	2 663 000
Autriche.	1.413.600	1.440.000	250.000	30.000	1.980.000	165.000	805.000	5.625.000	11.758 600
Suisse.	»	»	»	»	»	»	»	875.000	875.000
France.	»	80.000	»	»	»	»	172.500	15.000.000	15.252 500
Espagne.	10.416	2.000.000	1.250.000	6.000	300.000	»	3.450.000	1.500.000	8.516 416
Italie.	»	»	»	»	150.000	»	57.500	625.000	832.500
Afrique.	592.000	»	»	»	360.000	»	»	»	1.352.000
Asie méridionale et Indes orient.	6.200.000	»	»	3.000.000	1.800.000	»	»	»	11.000.000
Australie et Océanie.	37.200.000	128.000	»	»	2.100.000	»	»	»	39.428.000
Chili.	744.000	4.000.000	»	»	8.400.000	»	»	»	13.144.000
Bolivie.	297.000	2.060.000	»	900.000 (Bolivie et Pérou)		»	»	»	
Pérou.	471.200	4.300.000	100.000		900.000 (Pérou, Equateur, Brésil)	»	»	»	44.895.400 (Bolivie à Brésil)
Equateur, Nouvelle-Grenade, etc.	3.720.000	200.000	»	»		»	»	»	
Brésil.	1.488.000	11.200	»	»		»	»	»	
Mexique.	2.480 000	28.000.000	»	»		»	»	»	30.480.000
Cuba.	»	»	»	»	1.200.000	»	»	»	1.200.000
États-Unis.	49.600.000	352.000	500.000	»	2.100.000	550.000	1.725.000	25.000.000	71.327.000
	116.525.600	47.443.200	2.100.000	8.196.000	34.140.000	6.660.500	15.295.000	145.425.000	378.78 .200

Les évaluations qui sont données par les tableaux précédents ont pour base la production de 1854, que nous avons considérée comme normale. Mais on comprend que des changements peuvent survenir, soit par les progrès de l'industrie métallurgique, soit par de grands bouleversements politiques, qui arrêteraient les travaux des pays métallurgiques et viendraient, par conséquent, troubler l'exportation ainsi que la consommation des métaux.

Ces évaluations sont du reste loin de mériter toutes la même confiance. En effet, dans plusieurs des États bien organisés de l'Europe, l'industrie métallurgique jouit d'une protection toute particulière de la part des gouvernements; on y étudie même avec détail tout ce qui peut intéresser ses progrès, en sorte que les fluctuations annuelles de la production peuvent y être données avec une très-grande approximation. Parmi ces États, nous citerons la France, la Suède, la Norvége, la Prusse, la Saxe et l'Autriche.

Quant à la Grande-Bretagne, dans laquelle l'industrie métallurgique est beaucoup plus développée, la production de certains métaux ne pouvait être connue que d'une manière très-imparfaite jusque dans ces derniers temps. Les marchés de Swansea et du Cornouailles, nous ont surtout permis d'évaluer avec un grand degré de précision quelle est la production du cuivre. Nous avons d'ailleurs eu recours aux *Mining-Records* publiés par M. R. Hunt, pour connaître approximativement la production des autres métaux.

Tous les détails relatifs à l'Espagne sont empruntés aux publications des ingénieurs français et allemands, qui ont voyagé ou occupé des emplois dans ce pays. Le gouvernement ne publiant pas de documents officiels et la production étant très-variable, les évaluations que nous avons données ne peuvent du reste être considérées que comme approximatives.

Il était beaucoup plus difficile de présenter pour l'Asie et pour l'Amérique méridionale des chiffres qui fussent dignes de foi. Cependant le Chili possède des tableaux approximatifs de sa richesse métallurgique. Nous avons aussi quelques données sur sur la production de l'or et de l'argent dans l'Amérique méridionale; mais nous en manquons presque entièrement pour les autres métaux.

Les difficultés que nous avons rencontrées aux États-Unis n'étaient pas moindres que dans les autres pays. Car il n'y existe

aucun office chargé de rassembler les documents qui seraient nécessaires pour estimer la production métallurgique. Le Gouvernement ne prend aucune part active dans le développement des ressources métallurgiques de l'Union, et malheureusement l'importance des recherches statistiques n'est pas appréciée à sa juste valeur.

Dans un grand nombre de cas, nous n'avons pu obtenir des données précises qu'en visitant les centres d'exploitation, et, d'un autre côté, cela n'était pas toujours praticable. Du reste, les détails relatifs à la production du fer et de l'or ont déjà été publiés avec un grand degré d'approximation. Les évaluations relatives aux autres métaux ont été l'objet de recherches très-étendues, et, par conséquent, elles méritent quelque confiance.

Le tableau qui donne les valeurs des divers métaux a pour base les moyennes des prix anglais pour les derniers mois écoulés. Il fait connaître seulement les valeurs des matières brutes; mais il faut observer que ces matières subissent de grandes augmentations par la transformation en objets manufacturés. Le fer, par exemple, qui a été évalué sous la forme de fonte, peut augmenter de valeur hors de toute proportion. Cette remarque ne doit pas être perdue de vue toutes les fois qu'on compare les productions de pays différents. Car l'or, qui ne demande que peu de travail et de capitaux, pour être mis sous une forme appropriée à la consommation, contribue beaucoup moins à la richesse d'un pays, qu'un métal commun dont la valeur est décuplée ou même centuplée par les transformations qu'on lui fait subir.

Le tableau qu'on va lire résume d'une manière plus nette que ceux qui précèdent la production métallurgique de tous les pays du monde; il renferme à côté de la valeur générale attribuée à la production de chaque pays, son rapport à la production des États-Unis et de la Grande-Bretagne, prise pour unité.

PAYS DIVERS.	VALEUR des métaux produits.	Rapport de la valeur à celle des États-Unis.	de la Grande-Bretagne.
	dol.		
États-Unis.	79.827.000	1	5,60
Grande-Bretagne.	96.169.800	1,205	0,1
Australie.	39.428.000	0,494	5,12
Mexique.	30.480.000	0,382	1,30
Russie.	25.240.000	0,316	4,15
France.	15.252.500	0,191	1,60
Chili.	13.144.000	0,165	2,15
Le reste de l'Amérique méridionale.	16.176.000	0,203	1,60
Autriche.	11.708.600	0,147	1,80
Prusse.	9.680.000	0,121	1,10
Belgique.	9.375.000	0,118	1,10
Espagne.	8.016.416	0,100	1,12
Suède et Norwége.	5.460.896	0,068	1,17
Saxe.	1.455.000	0,018	1,67
Le Harz.	1.147.588	0,014	1,86
Italie.	832.500	0,010	1,12
Suisse.	375.000	0,005	1,24

L'importance métallurgique des États-Unis ressort bien évidemment de ce tableau; car, après la Grande-Bretagne, ils tiennent le premier rang pour la production, ainsi que pour la consommation des métaux. Les deux grands pays Anglo-Saxons devancent donc le reste du monde; et l'Australie, qui est une colonie anglaise de date récente, marche également sur leurs traces. La production de l'or aux États-Unis, qui est maintenant si considérable, subira sans doute prochainement une diminution notable, mais cette diminution sera largement compensée par l'essor rapide que prendra certainement la production des autres métaux.

(*Extrait par* M. DELESSE *de l'ouvrage de* M. WHITNEY : Metallic wealth of the United States, p. 505.)

OBSERVATIONS

SUR LA NOTE DE M. CLARINVAL RELATIVE A LA DÉPENSE DES DÉVERSOIRS (1).

Par M. BOILEAU.

Le but assigné par M. le capitaine Clarinval à la note qu'il a publiée (page 517 de ce volume) est de « faire » connaître un moyen simple et suffisamment exact » dans la pratique pour calculer la dépense des déver- » soirs les plus employés, c'est-à-dire des déversoirs » verticaux alimentés par des canaux rectangulaires de » même largeur qu'eux, et présentant à leur sommet » une arête saillante et un biseau.... »

L'auteur s'étant proposé d'abord de *faire connaître l'état de la question*, je crois utile de faire remarquer que les déversoirs qu'il définit sont loin d'être les plus employés dans la pratique; en effet: 1° ceux qui sont établis dans les usines, dans les fossés des fortifications ou dans le lit des rivières, présentent généralement des formes et des dispositions différentes dont j'ai étudié l'influence; 2° pour l'appréciation des effets des moteurs hydrauliques, on s'est servi de barrages équarris ou arrondis au sommet, ou de déversoirs avec contraction latérale incomplète; le biseau, lorsqu'on l'a pratiqué, était tourné tantôt du côté d'amont, tantôt vers l'aval, etc. Les incertitudes, les opinions contradictoires qui résultaient de cette variabilité de dispositifs m'ont engagé à proposer, pour le jaugeage des cours d'eau que l'industrie utilise, *un type uniforme* donnant lieu

(1) Voir page 517 de ce volume.

à des circonstances d'écoulement nettement caractérisées : c'est celui qui fait l'objet de la note de M. le capitaine Clarinval. J'en ai commencé l'étude en 1845.

Quant au passage qui concerne « ... les observations » communes à MM. Poncelet et Lesbros..., » l'opinion qui y est exprimée ne sera certainement point partagée par les physiciens et les géomètres qui s'occuperont des lois du mouvement des liquides; on sait d'ailleurs que ces belles et classiques expériences concernent l'écoulement avec contraction complète, ce qui constitue, au point de vue des phénomènes comme à celui du raisonnement, un cas normal qui doit servir de point de départ pour ceux des contractions incomplètes ou partiellement nulles.

On lit plus loin dans la Note :

« .... M. le capitaine Boileau a présenté, dans ces » dernières années, à l'Institut, un Mémoire dans lequel » il propose, pour les déversoirs dont je m'occupe, une » formule différente de celle de Dubuat, et qui, dans » certaines limites, n'a pas besoin de coefficient de » correction. L'auteur indique ces limites, les coeffi- » cients à adopter dans les autres cas, et donne un ta- » bleau renfermant les valeurs de K applicables à la » formule de Dubuat, *pour des charges et des hauteurs* » *de barrages très-étendues.*

» La première partie de ce travail me semble peu » utile, dès lors que cette formule a presque toujours » besoin d'un coefficient.... »

Le mémoire cité dans ce passage de la note a été présenté, non pas dans ces dernières années, mais en 1847 (1). J'ai été conduit à la formule dont parle

---

(1) Le tome XXV des *Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, contient le savant rapport qui a été fait

M. Clarinval par un grand nombre d'observations relatives à l'influence des principaux éléments dont celle de Dubuat ne tenait point compte, et elle contient l'application d'un principe expérimental déduit de ces observations; en outre, on peut voir, pages 107, 108 et 119 du *Traité de la mesure des eaux courantes*, qu'elle est loin d'exiger presque toujours des coefficients de correction : de sorte que, sous divers rapports, cette partie de mes recherches peut être plus utile que ne le pense l'auteur de la Note. Au reste, je me réserve d'y revenir lorsque je m'occuperai spécialement des formules.

M. Clarinval poursuit ainsi :

» .... Le tableau des valeurs de K me paraîtrait, au » contraire, d'une bien grande importance *s'il était plus* » *étendu*.... » On remarquera sans doute le désaccord qui existe entre ce passage et le précédent relativement à l'étendue des limites entre lesquelles j'ai fait varier les éléments qui influent sur les valeurs des coefficients de la formule de Dubuat pour un déversoir de forme donnée; j'ajouterai que l'auteur de la Note, s'occupant un peu plus loin de la série d'expériences due à M. le colonel Lesbros, et dans laquelle les charges ont varié

---

sur ce travail par une commission composée de MM. les généraux Poncelet, Piobert et Morin (rapporteur) : on me permettra d'en extraire les passages suivants :

« ..... M. Boileau, dans le nouveau Mémoire qu'il a soumis » au jugement de l'Académie, s'est occupé, avec la précision » qui avait distingué ses précédentes expériences, de l'étude » des principales circonstances que présente l'écoulement de » l'eau par les déversoirs, tant sous le rapport des mouvements » et des effets divers qui se produisent dans leur voisinage, que » sous celui de leur produit..... Ses recherches relatives à une » sorte de barrage normal qui peut être reproduit et servir de » type pour les jaugeages à effectuer dans les canaux des usines » présentent une utilité réelle..... »

de $0^m,056$ à $0^m,244$, déclare que ces charges... « y ont » toute l'extension que l'on rencontrera dans la pra- » tique. » Or, dans mes tables, car j'en ai donné deux, le même élément varie de $0^m,040$ à $0^m,500$, c'est-à-dire que l'étendue des limites des charges y est *plus que double* de celle que M. Clarinval trouve suffisante lorsqu'il s'agit des expériences de M. le colonel Lesbros. Quant à l'approximation que fournissent ces tables, l'auteur de la note ne dit point par quelle méthode il a déterminé la valeur moyenne de $\frac{1}{50}$ qu'il lui assigne; enfin la continuité de ces tables, qui comprennent ensemble 449 coefficients, est bien suffisante pour que les interpolations ne puissent pas abaisser sensiblement le degré de l'approximation.

Quant à l'assertion concernant, dans le même passage de la Note, l'exactitude des résultats qui ont servi de bases pour la construction de ces tables, comment l'auteur a-t-il pu l'écrire lorsqu'il s'agissait d'un nombre aussi considérable de coefficients, auxquels il reconnaît une approximation moyenne de $\frac{1}{50}$?... Pour infirmer un semblable jugement, il suffirait de faire remarquer que la série citée à l'appui correspond à des circonstances exceptionnelles, et surtout qu'elle se compose seulement de *trois* expériences dont la première, suivant les calculs de M. Clarinval, vérifie sa formule à $\frac{1}{155}$ près, approximation vraiment très-acceptable. Les deux autres ne lui donnent, en moyenne, qu'une approximation de $\frac{1}{28}$ (1), mais un examen plus

(1) La moyenne des deux coefficients d'expérience est 0,4155, et celle des deux coefficients calculés par M. Clarinval est 0,4305.

attentif eût convaincu M. Clarinval que sa formule ne peut tenir compte des phénomènes qui se produisaient au pied d'un barrage de 0^m,20 seulement de hauteur, et que l'influence de ces actions perturbatrices sur les valeurs de *h* devait augmenter rapidement avec le rapport de la charge à la hauteur du déversoir. Si j'ai fait quelques expériences dans ces conditions, c'était surtout pour compléter mes recherches, et j'ai d'ailleurs eu soin d'accompagner les résultats obtenus des observations suivantes : « Ces faibles hauteurs ont l'inconvénient pratique d'introduire de l'irrégularité dans le mouvement des nappes liquides, par suite du choc très-rapproché de celles-ci contre le fond du canal, irrégularités qui s'augmentent encore par l'action du remous-tourbillon formé au pied de barrage..... On conçoit que ces irrégularités doivent se traduire plus ou moins dans les observations (1). »

Pour ne pas avoir à revenir sur des incidents de ce genre, je placerai ici une remarque générale. Les savants expérimentateurs qui ont bien voulu s'occuper de mes travaux ont reconnu que, dans l'ensemble du système hydraulique et dans l'alimentation des orifices, j'avais pris des dispositions propres à écarter les causes d'anomalies. Quant à ces orifices eux-mêmes, j'aurais pu me placer dans des conditions plus favorables, en adoptant des déversoirs métalliques minces au lieu de barrages en madriers de 0^m,05 à 0^m,12 d'épaisseur; en fixant, comme l'a fait M. Lesbros dans les six expériences citées par M. le capitaine Clarinval, ces déversoirs à l'extrémité d'un coursier étroit et très-court au lieu d'exposer aux mouvements de l'atmo-

(1) On pourra comparer cet extrait avec la phrase qui m'est attribuée dans la Note.

sphère de larges surfaces liquides de 90 à 100 mètres de longueur; enfin, en laissant, comme M. Castel et M. Lesbros, les nappes liquides tomber librement dans l'air (1), au lieu d'établir les déversoirs au sein même du courant : je me serais ainsi épargné des oscillations, des remous, des frottements, des variations de pressions intérieures..., etc; mais mon but n'était pas le même que celui de ces hydrauliciens : j'ai voulu opérer dans des circonstances complétement semblables à celles de la pratique *du jaugeage des cours d'eau*, et étudier les difficultés naturelles de la question, afin de les signaler, de donner des moyens d'observation propres à les diminuer, et de prémunir les ingénieurs contre toutes les causes qui peuvent influer sur la régularité ou même l'exactitude des résultats dans une opération importante qui, en l'absence d'études spéciales, était regardée à tort comme très-simple.

En même temps, j'ai eu soin soin de discuter les résultats qui me paraissaient incertains, et l'auteur de la Note use en plusieurs endroits, dans des termes qui ne sont pas ceux que j'ai employés, des indications données par moi-même à cet égard.

Indépendamment d'une grande inexactitude dans les

---

(1) Malgré la réunion des circonstances les plus favorables, bien que les cinq coefficients de M. le colonel Lesbros, cités dans la note, soient, pour chaque expérience, des *moyennes* de trois résultats, la différence entre ces coefficients et ceux que M. Clarinval a calculés varie successivement, d'après la dernière colonne de son tableau, de 5 à 55, de 45 à 19 et enfin à 4, ce qui, au point de vue de l'auteur de la formule, attesterait au moins une assez grande irrégularité. En outre, pour adopter le mode d'appréciation de M. Clarinval, il faudrait regarder comme *fausse* l'expérience de M. Lesbros qu'il supprime dans une série de six résultats, parce qu'elle ne vérifie pas sa formule.

citations, cette Note ne peut donner qu'une idée incomplète des résultats de mes expériences, parce qu'elle ne mentionne que *cinq* séries sur *onze* et que, dans *deux* de ces *cinq* séries, elle supprime, sans avertissement, plus de la moitié des expériences; enfin parce que l'une des séries choisies par M. Clarinval, la septième, est, comme je viens de le faire remarquer, relative à des circonstances tout à fait exceptionnelles. Quoi qu'il en soit, je suis loin de penser qu'il y ait, dans ces particularités, aucun parti pris.

Pour abréger, je terminerai par l'observation suivante :

M. Clarinval conseille de déterminer les charges.....
» à l'aide du tube indicateur de Bidone modifié d'après
» les idées de M. le capitaine d'artillerie Boileau, *c'est-*
» *à-dire droit au lieu d'être courbe....* »

Cette appréciation m'oblige à faire observer que le tube recourbé employé par le savant géomètre à qui l'on doit surtout de belles et nombreuses observations sur les formes des veines liquides, les remous, la propagation des ondes.... etc., présente beaucoup plus d'analogie avec le tube de Pitot qu'avec le mien. Le procédé que j'ai proposé consiste à plonger un tube ouvert *quelconque* en amont et non en aval du déversoir, dans une masse liquide à peu près *stagnante* et non dans un *courant* plus ou moins rapide : le premier moyen d'observation exigerait une installation particulière, une orientation exacte et des nivellements, tandis que, dans le second, le tube se fixe de lui-même par la pression de l'eau contre le barrage et place la colonne liquide directement au-dessus du seuil du déversoir; enfin les propriétés physiques manifestées par l'emploi de ce dernier appartiennent à un ordre particulier de phénomènes. Il y a donc, entre le premier procédé et le mien, des différences

beaucoup plus essentielles que celle qui a été exclusivement remarquée par M. Clarinval.

L'examen des formules proposées pour le calcul du débit des déversoirs sans contraction latérale sera l'objet d'une prochaine communication. En attendant, je remarquerai, comme résultat d'un premier aperçu, que celle de M. le capitaine Clarinval est inutilement compliquée de radicaux et de facteurs communs, et qu'il lui manque un élément essentiel relatif à l'influence de la hauteur des barrages. Cette formule me paraît d'ailleurs inapplicable dans tous les cas où la valeur du coefficient de celle de Dubuat est supérieure à 0,46 ou s'abaisse au-dessous de 0,40.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DOUZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

BULLETIN.

(2e semestre 1857.)

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DOUZIÈME.

Pl. I et II. *Formes cristallines et composition chimique de divers sels.*

Fig. 23. Bromate de baryte.
Fig. 24. Bromate de chaux.
Fig. 25. Bromate d'argent.
Fig. 26. Acide iodique.
Fig. 27, 28, 29, 30. Iodate de soude et iodure de sodium.
Fig. 31. Iodate de magnésie.
Fig. 32. Benzoate de d'ammoniaque.

Fig. 1. Basalte dans le minerai de fer de Strackebirke, à *Altebirke.*

t. Basalte. — *p.* Pyrolusite. — *o.* Oxyde de fer impur. — *m.* Minerai de fer (Brauneisenstein).

Fig. 2. Basalte traversant un filon de galène à la mine *Carlsseegen.*

t. Basalte. — *m.* Galène.

Fig. 3. Bois changé en lignite et imprégné de mésotype, dans un tuf basaltique d'*Auvergne.*

t. tuf basaltique. — *l.* Bois changé en lignite. — *z.* mésotype.

Fig. 4. *Puy de la Piquette.*

t. Filons de basalte. — *p.* Péperite. — *c.* Blocs calcaires avec mésotype. — *b.* Bois carbonisé.

Fig. 5. *Puy de Chopine.*

u. Domite. — *m.* Eurite métamorphosée.

Fig. 6. Couche de lignite entre les nappes de trapp de la *Chaussée des Géants.*

l. Lignite. — *a.* Argile. — *t.* Trapp ordinaire et en sphéroïdes.

Fig. 7. *Mont Meissner.*

s. Grès bigarré. — *c.* Muschelkalk. — *a.* Argile tertiaire recouverte par une petite couche de sable *e.* — *l.* Lignite. — *a'.* Argile prismatique. — *t.* Nappe de basalte.

Fig. 8. Trapp pénétrant dans le terrain houiller de *Barrow Hill.*

t. Trapp. — *h.* Houille. — *a.* Terrain houiller. — *a'.* Terrain houiller métamorphosé. — *ff.* Failles.

Fig. 9. Gneiss en fragments dans un conglomérat palagonitique de la roche *Corneille.* Le fragment s'est brisé et le conglomérat a rempli l'interstice entre ses deux parties.

g. Gneiss. — *t.* Conglomérat.

Fig. 10. Coupe géologique des environs de *Belfast.*

n. New red sandstone. — *l.* lias. — *ct.* Greensand. — *c.* Craie blanche avec silex. — *x.* Dépôt tertiaire. — *t.* Nappe de trapp.

Fig. 11. Silex sous le trapp près de *Belfast*.

t. Nappe de trapp. — *a*. Argile rouge avec silex roulés. — *s*. Silex rouge. — *s'* Silex jaune. — *s''*. Silex gris. — *c*. Salebande accidentelle de chaux carbonatée fibreuse.

Fig. 12. Amas de trapp dans la craie de *White-Rock*.

t. Trapp. — *c*. Craie.

Fig. 13. Sphéroïdes calcaires dans le trapp de la *Bohême*.

t. Trapp. — *c*. Calcaire.

Fig. 14. Diorite et calcaire au *mont Mauné*.

t. Diorite.— *t'*. Diorite bréchiforme cimentée par de la chaux carbonatée. — *m*. Calcaire ferrugineux. — *c*. Calcaire compacte (analysé p. 199). — *b*. Brèche stratifiée formée de calcaire et de diorite.

Fig. 15. Diorite et calcaire au pont de *Pouzac*.

t. Diorite.— *f*. Veinules feldspathiques et calcaires.— *m*. calcaire ferrugineux, avec roches argileuses et celluleuses.

Fig. 16. Diorite et dolomie à *Uzer*.

t. Diorite. — *d*. Dolomie. — *c*. Calcaire. — *v*. Végétation.

Fig. 17. Filon de trapp traversant le greensand et la craie, à *Woodburn*.

t. Trapp. — *c*¹. Greensand. — *c*. Craie. — *s*. Silex. — *i*. Nodules marno-ferrugineux nommés *ironshotchalk*. Le greensand et la craie sont légèrement altérés près du contact.

Fig. 18. Dyke de trapp s'épanchant en forme de nappe, à *Woodburn*.

t. Trapp devenant prismatique à la partie supérieure. — *n*. New red sandstone. — *l*. Lias. — *c*¹. Greensand. — *c*. Craie blanche.— *m*. Salebande formée de chaux carbonatée spathique, de zéolithes, de saponite, de silex altérés. Au delà de la salebande, la craie est devenue cristalline. Toutes les couches en contact avec le trapp sont métamorphosées.

Fig. 19. Salebande entre le basalte et le calcaire argileux de l'*Ardèche*.

t. Basalte. — *c*. Calcaire argileux jurassique. — *m*. Salebande.

Fig. 20. Moule de fossile dans un calcaire jurassique métamorphosé au contact du basalte de l'*Ardèche*. Il est rempli par de la calcédoine *s*, recouverte par de la chaux carbonatée blanc jaunâtre et par une zéolithe radiée *z*.

Fig. 21. Nodules blancs zéolithiques, quelquefois légèrement caverneux et de dimensions microscopiques, qui s'observent entre les grains de quartz gris du grès de *Wildenstein*.

Fig. 22. Cavités microscopiques extrêmement irrégulières qui sont

remplies par de la terre verte; elles s'observent dans le calcaire argileux métamorphosé par le basalte de l'*Ardèche.*

Fig. 23. Contact du silex et de la craie devenue cristalline près du trapp des environs de *Belfast.*

c. Craie cristalline remplissant une cavité du silex. — *s.* Silex gris. — *s'.* Silex blanc formant salebande entre la craie et le silex gris. Il a éprouvé des retraits parallèles et perpendiculaires à la surface de contact, en sorte qu'il se divise à la fois en anneaux et en prismes.

Fig. 24. Silex pseudomorphosé en chaux carbonaté spathique et transparente dont les clivages se prolongent dans toute l'étendue du silex; de Tickmacrevan en *Irlande.*

Fig. 25. Trapp dans le grès, à la carrière Dugan, *Mont Scrabo.*

t. Trapp d'une première éruption. — t_2. Trapp d'une deuxième éruption. — t_3. Trapp d'une troisième éruption. — *s.* Grès rougeâtre qui est légèrement verdi au contact immédiat du trapp, notamment en *x.* — *a.* Veines d'argilithe. — *c.* Chaux carbonatée bleuâtre et spathique remplissant quelques fissures verticales et très-minces.— *r.* Déblais provenant de l'exploitation du grès.

Fig. 26. Grès empâté dans le basalte de *Röhrsdorf.*

t. Conglomérat de basalte et de grès. — *s.* Grès à bords profondément lobés et légèrement fondus dans le basalte.

Fig. 27. Grès empâté dans le basalte d'*Essey.*

t. Basalte. — *s.* Grès blanc à zones concentriques; des fibres radiées d'une zéolithe divergent de son centre. — *s'* Grès verdâtre et celluleux qui se fond dans le basalte; ses cellules sont tapissées de carbonates ainsi que de chlorite.

Fig. 28. Contact du trapp et du grès calcaire d'*Édimbourg.*

t. Trapp. — *g.* Grès calcaire. — *c.* Salebande très-mince de chaux carbonatée spathique. — *c'.* Veinule de chaux carbonatée.

Fig. 29. Calcaire empâté dans le trapp du *Val di Noto.*

t. Trapp avec péridot. — *c.* Calcaire compacte, rouge de chair ou grisâtre. — *c'.* Chaux carbonatée cristalline, radiée et blanchâtre.

Fig. 30. Veine de saponite dans la chaux carbonatée bleuâtre de *Woodburn.*

s. Saponite.— *p.* Enduit noirâtre due à de l'oxyde de manganèse; on l'observe aussi dans les fissures de la saponite. — *c.* Chaux carbonatée bleuâtre en cristaux tabulaires allongés. Des zéolithes remplissent les interstices laissés libres entre ses cristaux.

Pl. V.

Fig. 1. Grande carrière, à *Cushendall.*

t. Filons de trapp. — s. Grès rougeâtre. — s'. Même grès imprégné de terre verte.

Fig. 2. *Cardington Hill.*

t. Trapp. — s. Grès de Caradoc. — s'. Quartzrock.

Fig. 3. *Stapeley-Hill.*

t. Trapp. — l. Schiste de Llandeilo, avec grès trappéen. — s. Grès de Caradoc.— f. Filons métallifères avec minéral de plomb.

Fig. 4. Contact du trapp avec le quartzrock, à *Houth.*

t. Trapp.— s. Quartzrock; il est plus compacte près du trapp. — q. Veines de quartz hyalin formant quelquefois salebande.

Fig. 5. *Selkethal, au Hartz.*

t. Diorite en filon. — a. Schiste argileux horizontal et non altéré. — a'. Schiste argileux redressé et en plaques rhomboïdales.— a''. Jaspe (kieselschiefer) passant insensiblement à a'.— o. Fragments empâtés qui proviennent du schiste a et qui ne sont pas altérés.

Fig. 6. Petit filon de trapp serpentant dans les marnes du *new red sandstone*, à *Springfield.*

t. Trapp. — n. Marnes rouges et gypseuses du *new red sandstone.* — n'. Mêmes marnes verdies. — q. Veine de gypse.

Fig. 7. Gros filon de trapp traversant obliquement les marnes du *new redsandstone*, à *Springfield.*

t. Trapp se bifurquant; il est sphéroïdal dans certaines parties et schistoïde près de son contact avec les marnes.— n. Marnes rouges du *new redsandstone.* — n'. Marnes verdies près du trapp.

Fig. 8. Le *Mont Schaumberg*, entre Tholey et Theley.

t. Massif de mélaphyre. — a. Schiste houiller. — aI, aII, $aIII$. Schiste houiller métamorphosé à différents degrés.

Fig. 9. Plage de *Cultra* à la marée basse.

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7. Filons de trapp. — a. Schiste permien qui est calcaire et bleuâtre. — s. Grès permien rougeâtre. — d. Calcaire magnésien formant des bancs dans le grès. — i. Sable qui est transporté par la mer et qui remplit les cavités de la plage.— j. Jetée à l'entrée du port.

Fig. 10. Cavité montrant traces de fusion, dans le jaspe porcelanite de *Wildenstein.*

Fig. 11. *Puy de Mur.*

t. Nappe de basalte.— *a.* Péperite devenue lithoïde et divisée en prismes comme le basalte qui la recouvre.— *c.* Calcaire marneux. — *c'.* Calcaire oolithique.— *c''.* Calcaire concrétionné. — *p.* Péperite.

Fig. 12. *Montagne Gergovia.*

t_1, t_2, t_3. Filons et nappes de basalte. — *c.* Calcaire lacustre de la Limagne. — *c'.* Calcaire se divisant sur certains points en fragments polyédriques.— *p.* Péperite calcaire. *m.* Péperite calcaire métamorphosée en spilite au voisinage du basalte t_2. — *s.* Amas et veines de calcaire siliceux. — *v.* Végétation.

Fig. 13. Cellules dans le spilite métamorphique de *Gergovia* (échantillon VI, *fig.* 12, Pl. V). Ces cellules sont arrondies et communiquent toutes entre elles; il y en a de petites qui se sont formées jusque dans les cloisons. Une zone très-mince de zéolithe tapisse les cellules.

Fig. 14. Coupe dans le haut de la vallée du *Serchio.*

t. Euphotide. — *o.* Serpentine avec diallage. — *a.* Schistes du Macigno. — *m.* Mêmes schistes changés en jaspes. — *c.* Calcaire du Macigno.

Fig. 15. Géode dans le muschelkalk d'*Hattlanville* (Côte d'Essey).

a. Argile. — *c.* Chaux carbonatée gris bleuâtre et fibreuse.— *m.* Chaux carbonatée rouge et métastatique en cristaux implantés sur les parois de la cavité.

Fig. 16. Amygdaloïde dans le lias lithoïde de la *côte d'Essey.*

a. Argile bolaire. — *c.* Chaux carbonatée spathique.

Fig. 17. Coupe idéale du promontoire de *Portrush.*

t_1. Massif de dolérite. — *t.* Nappe de trapp. — *l.* Lias métamorphosé en jaspé. — *c.* Terrain crétacé (greensand et craie). — *t.* Dunes de sable et terrain de transport.

Fig. 18. Forme de cavité qu'on observe à la surface du lias jaspé et métamorphique de *Portrush*, lorsqu'il a été exposé à l'action de l'air.

Fig. 19. Silex de *Woodburn*, qui est devenu confusément globuleux, jaune verdâtre et qui a été imprégné de saponite.

s. Silex altéré. — *q.* Veinules blanches de saponite.

Pl. VI.

Fig. 1. *Trafgern.*

t. Trapp. — *a.* Schiste silurien inférieur. — *a'.* Schiste changé en jaspes.

Fig. 2. Houille changée en anthracite près du porphyre, à *Chassigny.*

g. Porphyre quartzifère. — H. Terrain houiller du bassin de la Chapelle-sous-Dun. — A. Terrain houiller métamorphique avec veines de houille anthraciteuse.

Fig. 3. Schistes cristallins avec anthracite, à *Mitlach*, entre Munster et Wildenstein.

h. Anthracite formant un nodule. — *o*. Cristaux d'orthose dans le schiste pétrosiliceux. — *m*. Paillettes de mica dans le même schiste.

Fig. 4. Houille de *Swansea*, se divisant en cônes près du contact de veines de pyrite.

p. Pyrite de fer. — *h*. Houille pyriteuse. — *h'*. Houille ayant la structure des *cone in cone corals*.

Fig. 5. *Ile de Tavolara*.

g. Granite (pegmatite). — *c*. Calcaire compacte. — *c'*. Calcaire cristallin et caverneux.

Fig. 6. Granite et calcaire jurassique, à *Grund*, au *Pont-de-l'Aar*.

g. Granite. — *c*. Calcaire. — *d*. Dolomie.

Fig. 7. Réseau formé par des veines entrelacées de silex, dans la dolomie de *Grund*.

s. Silex noirâtre. — *d*. Dolomie.

Fig. 8. Coupe du *Mettenberg*, à *Stireg*.

h. Gneiss. — *j*. Jura inférieur. — *v*. Calcaire oxfordien avec bélemnites.

Fig. 9. Granite pénétrant dans le schiste, sur la route d'Urbeis à *Bussang*.

g. Granite porphyroïde. — *s*. Schiste argileux de transition.

Fig. 10. Granite pénétrant dans le schiste dont il empâte des lambeaux, à Schliffels, près *Vesserling*.

g. Granite porphyroïde. — *s*. Schiste argileux de transition.

Fig. 11. Porphyre dans le schiste du val de *Villé*.

g. Porphyre. — *a*. Schiste de transition.

Fig. 12. Porphyre dans le terrain de transition de *la Claquette*.

g. Porphyre. — *b*. Brèche du terrain de transition. — *a*. Schiste.

Fig. 13. Cette figure est un détail de la précédente *fig*. 12; elle représente le contact du porphyre et de la brèche près du tunnel.

Fig. 14. Schiste feldspathique de *la Claquette*. Il se divise en parallélipipèdes qui sont circonscrits à des sphéroïdes concentriques.

Fig. 15. *Dundalk*.

t. Trapp en sphéroïdes. — *t'*. Trapp prismatique. — *c*. Calcaire carbonifère.

Fig. 16. Pegmatite à la limite du granite et dans le schiste cristallin.

g. Granite. — *p.* Pegmatite. — *a.* Schiste cristallin avec cristaux d'orthose.

Fig. 17. Coupe idéale du *Hartz.*

g. Granite. — *a.* Roches argileuses. — *a'.* Jaspes.

Fig. 18. Granite et micaschiste dans la vallée de *Glendalough.*

g. Granite.— *k.* Micaschiste. — *k'.* Micaschiste très-cristallin.

Fig. 19. *Saint-Gotthard.*

g. Granite protoginique. — *h.* Gneiss. — *k.* Micaschiste. — *k'.* Micaschiste avec hornblende. — *d.* Dolomie. — *q.* Gypse saccharoïde. — *c.* Schiste calcaire noir.

Fig. 20. Cristal de grenat *g* traversé par de l'amphibole *a.*

Fig. 21. Cristal d'amphibole tronçonné.

Fig. 22. Basalte dans le grès, à *Schemel.*

t. Basalte prismatique et rayonné. — *t'.* Basalte schistoïde. — *s.* Quadersandstein.

Fig. 23. *Desertlyn.*

t. Trapp. — *t'.* Trapp altéré. — *s.* Grès avec veine d'argilithe *a.*

Fig. 24. *Tamlaght.*

t. Basalte. — *t'.* Hydrosilicate magnésien. — *c.* Craie.

Fig. 25. *Old Radnor.*

t. Trapp.— *o.* Roche serpentineuse pénétrée par des veines de chaux carbonatée spathique. — *c.* Calcaire altéré, dur, cristallin, non stratifié. — *c'.* Calcaire non altéré et schiste silurien. — *b.* Conglomérat quartzeux.

Pl. VII. 000

Fig. 1. Vallée du Guadalquivir, du Biar et du Guezna.

Fig. 2. Coupe du Guezna à Carmona.

Fig. 3. Coupe transversale du Biar.

Fig. 4. Coupe sur le Parroso.

1. Poudingue du conglomérat à fragments énormes de quartz, quartzites, schistes; le tout d'un rouge hématiteux, 6 à 8^{m} de puissance. — 2. Argiles rouges, parsemées de points verts, schisteuses et gréseuses, se détachant en petites plaquettes; puissance, 1^{m}. — 3. Poudingues à galets roulés de quartz rouge, cimentés par de l'argile hématiteuse; puissance, 3 à 4^{m}. — 4. Grès rouges schisteux et plateux; 4^{m} de puissance. — 5. Poudingue semblable à 3; puissance, 5^{m}. — 6. Argiles ou grès schisteux, comme 4; puissance, 4^{m}. — 7. Poudingues à

